

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**ALESSANDRA BELOTSEKOVETS HEINRICH**

**AVALIAÇÃO PRÉVIA DE CONTAMINANTES QUÍMICOS PARA DECISÃO DE  
DESTINAÇÃO DE SEDIMENTOS DO DESASSOREAMENTO DO RIO BELÉM**

**CURITIBA  
2011**

**ALESSANDRA BELOTSEKOVETS HEINRICH**

**AVALIAÇÃO PRÉVIA DE CONTAMINANTES QUÍMICOS PARA DECISÃO DE  
DESTINAÇÃO DE SEDIMENTOS DO DESASSOREAMENTO DO RIO BELÉM**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Klaus Fischer

Co-orientadores: Prof. Dr. Jörg Metzger  
Prof. Dr. Alvaro Mathias

**CURITIBA  
2011**

H469

Heinrich, Alessandra Belotserkovets

Avaliação prévia de contaminantes químicos para decisão de  
destinação de sedimentos do desassoreamento do Rio Belém /  
Alessandra Belotserkovets Heinrich. – Curitiba, 2011.

124 f.: il., tab.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Paraná,  
SENAI - PR, *Universität Stuttgart*, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-  
Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Klaus Fischer

Coorientadores: Jörg Metzger, Alvaro Luiz Mathias.

1. Água (Geoquímica orgânica). 2. Sedimentos fluviais – Análise.  
I. Fischer, Klaus. II. Metzger, Jörg. III. Mathias, Alvaro Luiz. IV. Título.


CDD: 551.9


## TERMO DE APROVAÇÃO


ALESSANDRA BELOTSEKOVETS HEINRICH

### **AVALIAÇÃO PRÉVIA DE CONTAMINANTES QUÍMICOS PARA DECISÃO DE DESTINAÇÃO DE SEDIMENTOS DO DESASSORERAMENTO DO RIO BELEM**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

  
Coorientador: Prof. Dr. ÁLVARO LUIZ MATHIAS  
Setor de Tecnologia, UFPR

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>a</sup>. MARIA CRISTINA BORBA BRAGA  
Setor de Tecnologia, UFPR

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>a</sup>. REGINA WEINSCHUTZ  
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 29 de junho de 2011.



*“O amor tem nuances que só ele pode explicar.  
A meus pais que deram suas próprias vidas  
para que minha experiência tivesse sentido;  
Hoje, apesar de muito ter aprendido, não  
aprendi ainda algo que pudesse substituí-los.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e irmãos, pelo amor e compreensão,

Aos meus orientadores Klaus e Jörg, pela atenção e dedicação, apesar das dificuldades da língua,

Ao professor Mathias, pela intensa dedicação e valiosa contribuição na revisão deste trabalho,

Aos professores do mestrado, pelos ensinamentos e dedicação,

Aos colegas de mestrado, que estiveram juntos em cada dificuldade e pelas alegrias compartilhadas,

Aos companheiros de estadia na Alemanha, Ane, Cris e Werner, pelo companheirismo durante o rigoroso inverno alemão...

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente, pelo auxílio durante meu estágio na Alemanha,

Ao pessoal da Secretaria Municipal de Obras Públicas, em especial, à Ana Carolina, pela força e pela ajuda nos momentos em que não estive aqui, na coleta das amostras e acompanhamento de meus orientadores,

Ao pessoal do Laboratório do SENAI-CETSAM, pelo atendimento e auxílio na coleta e análise das amostras,

A todos que me acompanharam em alguma parte dessa caminhada...

## RESUMO

Os sedimentos produzidos por erosão do solo e de drenagem urbana podem se acumular nos leitos dos rios, formando ilhas. Assim, obras de desassoreamento e limpeza devem ser realizadas para sua remoção, o que previne enchentes. Esses sedimentos devem ser convenientemente destinados de acordo com seu grau de contaminação. Os sedimentos do Rio Belém, Município de Curitiba, Paraná, Brasil, na Região do “Baixo Belém”, foram removidos em 2010 com uso de máquinas. Eles foram depositados provisoriamente nas suas margens. Os materiais removidos das ilhas centrais e laterais do rio, bem como do fundo do rio e solo marginal foram denominados sedimentos. Sua destinação final foi avaliada neste trabalho com base na análise química preliminar de contaminantes inorgânicos e orgânicos. A ação antrópica nesta região foi avaliada para a escolha dos contaminantes a serem pesquisados. Os seguintes tipos de estabelecimentos na área de estudo foram identificados: indústrias em geral (22%), usinagem e tratamento de metais (11%), gráficas (21%), serviços automotivos (37%) e postos de combustíveis (10%). Os sedimentos foram depositados em seis áreas ao longo do rio Belém, sendo o ponto 1 mais afastado e o 6 mais próximo ao deságüe no rio Iguaçu. O teor de metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, prata e zinco), hidrocarbonetos aromáticos polinucleados (PAH), carbono orgânico total e nitrogênio total foram avaliados nos seis pontos de deposição. Assim, os valores foram obtidos e comparados com referências legais e normativas, de modo a determinar a melhor forma de destinação final: solo (Decreto Municipal 1190/04 e Resolução CONAMA 420/09), material dragado (Resolução SMA 039/04), lodo de esgoto (Resolução CONAMA 375/06 e Instrução Normativa SDA 025/09), sedimento (Resolução CONAMA 344/04 e Atlas Geoquímico da Região de Curitiba) e resíduo sólido (NBR 10004). A avaliação química dos contaminantes auxiliou na decisão de melhor uso tecnicamente possível do sedimento. A alta concentração para chumbo (1495,11 mg/kg para o ponto 2, com 8.500 m<sup>3</sup>) e benzo(a)pireno (9,07 mg/kg para o ponto 3, com 7.500 m<sup>3</sup>) destes locais restringiu seu uso para preenchimento de containeres geotêxteis ou como cobertura de aterros de resíduos perigosos. Os sedimentos do ponto 4 (17.700 m<sup>3</sup>) e do 5 (19.500 m<sup>3</sup>) foram os menos contaminados e poderiam ter um uso mais nobre; por exemplo, como material de preenchimento para fundações em estradas, ruas e ciclovias ou como material para recuperação de áreas contaminadas. Os sedimentos do ponto 1 (5.200 m<sup>3</sup>) e do 6 (18.300 m<sup>3</sup>) poderiam ser utilizados como cobertura em aterros de resíduos não-perigosos. A aplicação na agricultura não seria direta, pois os teores de carbono orgânico total e de nitrogênio total foram baixos. Análises físicas complementares devem ser realizadas para confirmar as destinações sugeridas. Assim, o maior volume de sedimentos removidos não deveria ser disposto em aterros, o que é uma limitação para o município. Mas, o sedimento pode ter um uso mais nobre. A metodologia empregada poderá ser utilizada em outras obras de desassoreamento do município, que poderá ser expandida para outros casos em municípios brasileiros.

**Palavras-chave:** Desassoreamento, sedimento dragado, avaliação química, destinação de sedimentos.

## ABSTRACT

The sediments that result from soil erosion and urban drainage may accumulate on the riverbed, forming islands. Thus, dredging and cleaning-up activities should be performed for its removal, preventing floods. These sediments should be adequately disposed accordingly to their contamination degree. Sediments from Belém River, Municipality of Curitiba, Parana, Brazil, Region "Baixo Belém", were removed from riverbed by dredges in 2010. They were temporarily left on the river banks. The materials removed from the central and lateral islands, as well from the riverbed and riversides were named sediments. Its final destination was evaluated in this work, using as criteria the preliminary chemical analysis of inorganic and organic contaminants. The anthropic activities in this area were evaluated for the choice of contaminants that should be investigated. The following types of establishments in the study area were identified: general factories (22%), milling and surface treatment (11%), printing industries (21%) automotive services (37%) and gas stations (10%). Sediments were placed in six sites along the river banks, number 1 was the farthest and number 6 was the closest to where Belém River flows into the Iguaçu River. The content of heavy metals (cadmium, lead, copper, chromium, nickel, silver and zinc), polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs), total organic carbon and total nitrogen, were assessed at the six points of deposition. Thus, the values obtained were compared with the legal and normative references to determine the best way and the final destination: soil (Municipality Decree 1190/04 and Resolution CONAMA 420/09), dredged material (Resolution SMA 039/04), sewage sludge (Resolution CONAMA 375/06 and Normative Instruction SDA 025/09), sediment (Resolution CONAMA 344/04 and Geochemical Atlas of Curitiba Region) and solid waste (NBR 10004). The chemical evaluation of contaminants helped in the decision of the possible best technical use of a sediment. The high concentration of lead (1,495.11 mg/kg for site 2 with 8,500 m<sup>3</sup>) and benzo(a)pyrene (9.07 mg/kg for site 3 with 7,500 m<sup>3</sup>) of these sites restricted their use as filling of geotextiles containers or as the cap layer of hazardous waste landfill. The sediments from site 4 (17,700 m<sup>3</sup>) and 5 (19,500 m<sup>3</sup>) were less contaminated and they could be used as foundations on roads, streets and bicycles paths or even as filling in the reclamation of contaminated areas. Sediments from site 1 (5,200 m<sup>3</sup>) and 6 (18,300 m<sup>3</sup>) could be used as cap layer in landfills of non hazardous waste. The use for agricultural purpose would not be straight because of low contents of total organic carbon and total nitrogen. Additional physical analysis should be performed to confirm the suggested destinations. Thus, the largest volume of removed sediments should not be dumped in landfills, what is very limiting for the municipality. But the sediment should have a more noble use. This methodology can be used in other dredged areas of the municipality as well as be extended to more Brazilian municipalities.

Keywords: Dredging, dredged sediment, chemical evaluation, sediments destination.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLOS DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS .....	25
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS NO RIO BARIGUI.....	37
FIGURA 3 - TRECHO DO CANAL DO FUNDÃO, NO RIO DE JANEIRO, ANTES DAS OBRAS DE DESASSOREAMENTO.....	42
FIGURA 4 – DETALHE DO GEOTÊXTIL UTILIZADO NAS OBRAS DO CANAL DO FUNDÃO.....	43
FIGURA 5 – FLUXO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO EM SOLO, DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO SMA Nº 39/04 .....	49
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS.....	52
FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BELÉM E DOS BAIRROS NELA INSERIDOS .....	54
FIGURA 8 – ALAGAMENTO NA RUA SALVADOR DE FERRANTE, BAIRRO BOQUEIRÃO, PRÓXIMO AO RIO BELÉM, EM 09/09/2009.....	56
FIGURA 9 - FORMAÇÕES GEOLÓGICAS NA ÁREA DE ESTUDO – BAIXO BELÉM.....	58
FIGURA 10 – LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTO REMOVIDO DO RIO BELÉM.....	64
FIGURA 11 – USO DE AMOSTRADOR “TRIER” PARA COLETA DE MATERIAL DRAGADO .....	65
FIGURA 12 – USO DE PÁS PARA COLETA DE MATERIAL DRAGADO .....	66
FIGURA 13 – ETAPAS DO QUARTEAMENTO PARA COLETA DOS SEDIMENTOS .....	66
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS DE ATIVIDADES ECONÔMICAS NO BAIXO BELÉM	72
FIGURA 15 – QUANTIDADES DE SEDIMENTOS EM CADA LOCAL DE DEPOSIÇÃO.....	73
FIGURA 16 – VISTA AÉREA DAS ILHAS DE SEDIMENTOS NO RIO BELÉM, NO TRECHO SOB INTERVENÇÃO .....	74
FIGURA 17 – EXECUÇÃO DE DESASSOREAMENTO NO RIO BELÉM, COM RETIRADA DE (A) SEDIMENTO DE FUNDO E (B) DAS MARGENS .....	75
FIGURA 18 – ASPECTO VISUAL DO SEDIMENTO RETIRADO DO RIO BELÉM.....	76
FIGURA 19 – DISPOSIÇÃO DO SEDIMENTO REMOVIDO NAS MARGENS DO RIO BELÉM .....	76
FIGURA 20 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS.....	79
FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS.....	80
FIGURA 22 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS.....	82
FIGURA 23 – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS.....	84
FIGURA 24 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COT NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS.....	85
FIGURA 25 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS .....	86

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TEORES DE CARBONO ORGÂNICO, NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DO RIO BARIGUI.....	38
TABELA 2 - RESUMO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS SEDIMENTOS DO RIO TIETÊ EM 1992.....	39
TABELA 3 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO MATERIAL DRAGADO NO RIO TIETÊ COM SOLO DA BACIA DO ALTO TIETÊ E COM OS VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO .....	42
TABELA 4 – CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME FORMAÇÃO GEOLÓGICA, NA BACIA DO RIO BELÉM.....	59
TABELA 5 – NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS POTENCIALMENTE GERADORES DE EFLUENTES LÍQUIDOS POR BAIRRO NA ÁREA DE ESTUDO .....	71
TABELA 6 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NOS PONTOS DE COLETA.....	79
TABELA 7 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NOS PONTOS DE COLETA....	80
TABELA 8 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NOS PONTOS DE COLETA ....	81
TABELA 9 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NOS PONTOS DE COLETA .....	83
TABELA 10 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL NOS PONTOS DE COLETA .....	85

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - EXEMPLOS DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO EM SEDIMENTOS URBANOS.....	19
QUADRO 2 - PRINCIPAIS METAIS PESADOS, EFEITOS EM ORGANISMOS E FONTES ANTROPOGÊNICAS/USOS.....	23
QUADRO 3 - USOS DOS TIPOS DE MATERIAL DRAGADO COMO MATERIAL CONSTRUTIVO EM ATERROS.....	32
QUADRO 4 – CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS NO LODO DE ESGOTO.....	46
QUADRO 5 – CLASSES DE QUALIDADE DE ÁGUA CONFORME AIQA .....	55
QUADRO 6 - RELAÇÃO DOS LOCAIS, DATAS E ÁREAS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS REMOVIDOS, PONTOS DE REFERÊNCIA E COORDENADAS UTM...63	
QUADRO 7 – QUANTIDADE DE SEDIMENTOS RETIRADOS DO RIO BELÉM NAS OBRAS DE DESASSOREAMENTO EM 2010, POR LOCAL DE DEPOSIÇÃO DO MATERIAL .....	73
QUADRO 8 - LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTOS E PONTOS DE REFERÊNCIA.....	78
QUADRO 9 - PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CHUMBO NO SEDIMENTO REMOVIDO .....	78
QUADRO 10 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NO SEDIMENTO REMOVIDO .....	79
QUADRO 11 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NO SEDIMENTO REMOVIDO .....	80
QUADRO 12 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NO SEDIMENTO REMOVIDO.....	81
QUADRO 13 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NO SEDIMENTO REMOVIDO .....	83
QUADRO 14 - PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE BENZO(A)PIRENO NO SEDIMENTO REMOVIDO.....	86
QUADRO 15 - PADRÕES REFERENCIAIS DE METAIS PESADOS (NBR 10004) NO EXTRATO LIXIVIADO .....	87
QUADRO 16 – RESUMO DAS SUGESTÕES PARA USO DOS SEDIMENTOS REMOVIDOS DO RIO BELÉM.....	97
QUADRO 17 – RESUMO DOS PADRÕES LEGAIS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIQA	- Avaliação Integrada da Qualidade da Água
APA	- Área de Proteção Ambiental
APP	- Área de Preservação Permanente
CETESB	- Companhia de Saneamento e Tecnologia Ambiental
CETSAM	- Centro de Tecnologia em Saneamento e Meio Ambiente
COHAB	- Companhia de Habitação Popular de Curitiba
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	- Carbono orgânico total
DBO <sub>5</sub>	- Demanda bioquímica de oxigênio
EPA	- Environmental Protection Agency
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
INEA	- Instituto Estadual do Ambiente
IPPUC	- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
OD	- Oxigênio dissolvido
PAH	- Hidrocarboneto policíclico aromático
PCB	- Bifenila policlorada
POP	- Poluentes orgânicos persistentes
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SENAI	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SMMA	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente
USCS	- Unified Soil Classification System
UTM	- Universal Transversor Mercator
VA	- Valor de Alerta
VI	- Valor de Investigação ou de Intervenção
VP	- Valor de Prevenção
VRQ	- Valor de Referência de Qualidade



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E A NECESSIDADE DE DRAGAGENS .....	16
2.1.1 Produção de sedimentos em áreas urbanas.....	17
2.2 CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS E MATERIAIS DRAGADOS.....	19
2.2.1 Constituintes do material dragado.....	20
2.2.1.1 Fração argilosa.....	20
2.2.1.2 Matéria orgânica.....	20
2.2.1.3 Contaminantes.....	21
2.2.2 Propriedades químicas do material dragado.....	27
2.3 USO DE SEDIMENTOS PARA OUTRAS FINALIDADES .....	28
2.3.1 Introdução .....	28
2.3.2 Usos na construção civil.....	30
2.3.2.1 Material de construção.....	30
2.3.2.2 Recuperação de áreas contaminadas e cobertura de aterros.....	31
2.3.2.3 Preenchimento de containeres geotêxteis.....	33
2.3.2.4 Parques e usos recreativos .....	33
2.3.3 Usos na agricultura, horticultura e reflorestamento .....	34
2.3.4 Considerações gerais.....	35
2.4 DISPOSIÇÃO FINAL DE MATERIAL DRAGADO NO SOLO .....	36
2.5 EXPERIÊNCIAS COM ANÁLISE DE SEDIMENTO E DESTINAÇÃO FINAL .....	36
2.5.1 Avaliação química de sedimentos do Rio Barigui.....	36
2.5.2 Avaliação de material dragado do Rio Tietê e sua disposição final.....	39
2.5.2.1 Monitoramento realizado na Lagoa de Carapicuíba .....	41
2.5.3 Dragagem do Canal do Fundão – Rio de Janeiro .....	42
2.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	44
2.6.1 Considerações gerais.....	44
2.6.2 Resolução CONAMA nº 344/04 .....	45
2.6.3 Resolução CONAMA nº 375/06 .....	46
2.6.4 Resolução CONAMA nº 420/09 .....	47
2.6.5 Resolução SMA nº 039/04 .....	48
2.6.6 Decreto Municipal nº 1190/04 (Curitiba).....	50
2.6.7 Norma Técnica NBR 10004.....	50
<b>3 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>53</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM.....	53
3.1.1 Considerações gerais.....	53
3.1.2 Hidrografia.....	54
3.1.3 Áreas verdes .....	57
3.1.4 Geologia.....	57
3.1.5 Geoquímica.....	59
3.1.6 Evolução do uso e Ocupação do solo .....	59
3.1.7 Atividades econômicas.....	60

3.1.8	Possibilidade da ação antrópica negativa sobre o Rio Belém .....	61
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
4.1	ATIVIDADES ECONÔMICAS DO BAIXO BELÉM.....	62
4.2	OBRAS DE DESASSOREAMENTO.....	62
4.3	ANÁLISES QUÍMICAS.....	63
4.3.1	Amostragem.....	63
4.3.2	Parâmetros Químicos em Relação à Matriz.....	67
4.3.3	Determinação de Parâmetros da Amostra em Laboratório .....	67
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
5.1	ATIVIDADES ECONÔMICAS DO BAIXO BELÉM.....	71
5.2	OBRAS DE DESASSOREAMENTO E LIMPEZA NO BAIXO BELÉM.....	72
5.3	ANÁLISE QUÍMICA DOS SEDIMENTOS DAS OBRAS DE LIMPEZA E DESASSOREAMENTO DO BAIXO BELÉM .....	77
5.3.1	Amostra Bruta .....	78
5.3.2	Extrato lixiviado da amostra Bruta.....	87
5.4	USO E DISPOSIÇÃO FINAL DE SEDIMENTOS REMOVIDOS DE ACORDO COM OS PADRÕES REFERENCIAIS.....	87
5.4.1	Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões próprios de sedimentos.....	89
5.4.2	Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de solos .....	91
5.4.3	Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de lodo de esgoto ...	92
5.4.4	Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de classificação de resíduos .....	93
5.4.5	Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de material dragado .....	95
5.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	96
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>103</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O acelerado ritmo de desenvolvimento nos grandes centros urbanos vem promovendo uma rápida ocupação do solo, resultado do aumento da população e da instalação de atividades econômicas industriais e de prestação de serviços, causando aumento de sua impermeabilização (TAYLOR e OWENS, 2009). Esse desenvolvimento pode trazer impactos adversos ao meio ambiente, tais como o assoreamento dos rios e córregos dos centros urbanos, por contribuição de partículas de solo provenientes da erosão, da drenagem urbana e do lançamento de efluentes líquidos (TUCCI e ORSINI, 2005). A presença de substâncias químicas perigosas adsorvidas nos sedimentos, provenientes de lançamentos indevidos de efluentes de indústrias, derramamentos acidentais e contribuições da drenagem de ruas e avenidas pode tornar tais impactos ainda mais graves (TAYLOR e OWENS, 2009).

O assoreamento pode causar alterações do fluxo de águas nos rios, que associada à ocorrência de chuvas mais intensas e frequentes, bem como ao arraste de lixo, aumenta o risco de ocorrência de enchentes (TAYLOR e OWENS, 2005). Desta forma, há necessidade da realização de obras de desassoreamento e limpeza para retirada de sedimentos acumulados (TUCCI e ORSINI, 2005), visando à minimização de futuros prejuízos à população.

No município de Curitiba, principalmente a partir da década de 1980, os impactos da ocupação do solo sobre os rios que cruzam a capital, tais como a impermeabilização, remoção de cobertura por áreas verdes e a ocupação irregular em áreas de alagamento natural do rio, também trouxeram consequências adversas à população (SMMA, 2007). Por exemplo, o rio Belém inunda periodicamente a cidade de Curitiba, sendo que já ocorreram 18 extravasamentos de águas entre abril de 1981 e novembro de 1999 (GEISSLER e LOCH, 2004).

Uma das formas de prevenção destes episódios de enchentes é a realização de obras de intervenção para retirada e limpeza dos sedimentos acumulados ou assoreados, denominadas de desassoreamento (TUCCI e ORSINI, 2005). Obras de desassoreamento são periodicamente realizadas nos rios e lagos do Município (GEISSLER e LOCH, 2004). O desassoreamento realizado no Lago do Parque Barigui em 2007 pode se destacar. Essa obra removeu cerca de 8000 a 8500 m<sup>3</sup> de sedimentos (BEM, 2009).

É possível observar que essas obras removem grandes quantidades de sedimentos, os quais necessitam de uma destinação final melhor do que deposição em aterro. As seguintes dificuldades podem ser listadas:

(a) a baixa disponibilidade de grandes áreas para disposição final no solo, bem como o custo envolvido no transporte e disposição no solo, limita essa destinação (USACE, 1987);

(b) o encerramento recente do Aterro Sanitário Municipal da Cachimba, em novembro de 2010, impossibilita a disposição final neste local;

(c) o desconhecimento do teor de contaminação que pode estar presente nos sedimentos, devido à poluição urbana e industrial nos rios, prejudica a escolha de uma destinação alternativa (BORTONE, 2007).

Desta forma, o estudo de outras formas de destinação final destes sedimentos é necessário, visando à diminuição dos impactos causados por sua deposição em locais inadequados ou mesmo da sua manutenção na área de remoção. No entanto, o sedimento retirado pode apresentar outras possibilidades de destinação, desde que sejam conhecidas suas características. Assim, alternativas, tais como o preenchimento de containeres geotêxteis com sedimentos, utilizada na dragagem no Canal do Fundão – Rio de Janeiro, para uso futuro em obras urbanísticas (ESTADO, 2009; AULER, 2010), tornam-se mais apropriadas do que a disposição direta no solo ou mesmo em aterros; principalmente em função do grande volume de material envolvido. Assim, uma caracterização química para avaliar o nível de contaminação do sedimento é necessária para a escolha da melhor destinação final. Pois, um nível de contaminação maior no material pode restringir as opções desta utilização futura (USEPA e USACE, 2007).

Neste trabalho foi feito um levantamento das alternativas de uso de sedimentos removidos em desassoreamento urbano de rios. Assim, as características químicas dos sedimentos, os padrões legais e normativos para avaliação de contaminantes, alternativas de uso e levantamento de casos descritos na literatura serão relatados de modo a propor um conjunto de medidas de uso de sedimento removido. Ainda, a caracterização química preliminar dos sedimentos removidos por desassoreamento de seis regiões do Rio Belém de Curitiba, realizada em 2010, foi desenvolvida para avaliar a presença de contaminantes, que é a primeira etapa para uma proposta inicial de seu uso potencial. Assim, a destinação dos sedimentos será proposta de acordo com a legislação pertinente.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo principal identificar algumas possibilidades de destinação e uso de sedimentos removidos em obras de desassoreamento e limpeza do Rio Belém para outras finalidades.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- (a) identificar as atividades econômicas da região do Baixo Belém para programar e otimizar a avaliação química de contaminantes, de acordo com os recursos disponíveis;
- (b) acompanhar a situação dos sedimentos antes e após as obras de desassoreamento e limpeza no rio Belém, na região de estudo;
- (c) determinar o volume de sedimentos removidos durante essas obras;
- (d) avaliar o grau de contaminação dos sedimentos removidos dessas obras;
- (e) identificar padrões legais e normativos para avaliação preliminar de contaminação pela presença de substâncias compatíveis com a ação antrópica sobre o sedimento removido de obras de desassoreamento e limpeza de rios, bem como em materiais similares (solo, resíduo, lodo de esgoto e material dragado), de modo a identificar alternativas de uso de sedimentos para outras finalidades ou sua disposição final.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E A NECESSIDADE DE DRAGAGENS**

Segundo Bortone (2007), sedimentos são partículas de areia, argila, silte e outras substâncias que se decantam no fundo de corpos d'água e são provenientes da erosão do solo, da decomposição de plantas e animais, bem como de sólidos liberados em plantas de tratamento de esgotos. O vento e a água podem carregar estas partículas por longas distâncias e por isso, os sedimentos não ficam restritos em uma única área da bacia hidrográfica. A sedimentação ocorre devido à diminuição do fluxo de água dos rios em planícies, fazendo com que os sólidos suspensos se depositem ao longo das margens e nos leitos dos rios.

Por séculos, a humanidade vem reconhecendo e utilizando os sedimentos provenientes dos rios como fertilizante para agricultura e fonte de minerais e materiais. Além disso, após as inundações naturais, os sedimentos são depositados nas áreas de inundação ao longo da margem dos rios, promovendo sua fertilização. O sedimento também vinha sendo usado como material de construção, por exemplo, para recuperação de praias e recuperação de terras (BORTONE, 2007).

As quantidades de sedimentos vêm sendo gerenciadas por séculos, principalmente através da realização de operações de dragagem, que são necessárias para a manutenção da navegabilidade dos rios. Além da navegação, a dragagem assegura a capacidade adequada de drenagem das precipitações, auxiliando na prevenção de enchentes (BORTONE, 2007).

Desde o início da Revolução Industrial, substâncias químicas perigosas são lançadas nos corpos d'água superficiais, sendo que muitas delas não se dissolvem em água e então se aderem ou se acumulam nas partículas dos sedimentos. Assim, eles servem como reservatórios de contaminantes que não se degradam, diminuindo, deste modo, a sua qualidade. Assim, os sedimentos chamam a atenção dos gestores de águas da região, em especial quando sua contaminação estiver associada a riscos à saúde humana e ao meio ambiente, requerendo a ações especiais para o seu gerenciamento (BORTONE, 2007).

Outra questão que surge neste contexto é a quantidade e qualidade do material dragado. Assim, por exemplo, no caso de pequenas dragagens para manutenção de valas e rios, o material retirado fica disposto ao longo das margens dos rios. Nos casos em que tal opção é indesejável ou inviável por questões de

espaço e ambientais, alternativas são aplicadas, tais como preenchimento de antigas cavas de extração de areia ou recolocação do material na própria bacia hidrográfica (BORTONE, 2007).

Uma pequena porção do material dragado, entretanto, está contaminada por atividades humanas em tal extensão que restrições ambientais necessitam ser aplicadas para deposição deste material. Em alguns casos, a contaminação é tão grande que há necessidade de tratar este material antes que este possa ser devolvido ao meio ambiente. Uma estratégia efetiva de tratamento nunca deve ser implementada como uma opção de “fim de tubo”, mas um controle na fonte é pré-requisito para se atingir uma qualidade de sedimento no futuro que não cause danos a sistemas aquáticos ou terrestres (BORTONE, 2007).

### *2.1.1 Produção de sedimentos em áreas urbanas*

De acordo com Taylor e Owens (2009), mais de 50% da população mundial vive nos centros urbanos e a pressão desta ocupação faz com que superfícies se tornem cada vez mais impermeáveis e cursos d'água sejam fortemente adaptados para navegabilidade; isso resulta em alterações hidrológicas e sedimentológicas nos rios que cruzam estes centros urbanos, diferenciando-os dos sistemas aquáticos naturais. Desta forma, essas pressões levam à necessidade de se compreender e gerenciar questões que não são geralmente encontradas em ambientes naturais. Em especial, destaca-se a produção de sedimentos nos rios urbanos, provenientes da ocupação e atividades desenvolvidas nestes centros.

Segundo Tucci e Orsini (2005), no desenvolvimento urbano, são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido (sedimentos), a saber:

(a) estágio de pré-desenvolvimento: a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos transportada pelos rios, em decorrência das funções naturais do ciclo hidrológicos;

(b) estágio inicial de desenvolvimento urbano: quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando, junto com ela, a produção de sedimentos. Todo esse volume de material é então transportado pelo escoamento superficial até os rios;

(c) estágio intermediário: quando ainda existe movimentação de terra por causa de novas construções, acrescida da geração de resíduos sólidos em função da população já estabelecida;

(d) estágio de área desenvolvida: nesta fase, praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas, resultando numa produção de sedimentos resultante de áreas não-impermeabilizadas, mas com uma maior produção de lixo urbano.

No Brasil, não existem dados que estimem a quantidade de resíduos sólidos na drenagem. Conta-se apenas com algumas informações sobre sedimentos em alguns rios. No entanto, é visível a quantidade de resíduos na drenagem, que obstruem o escoamento. A produção de sedimentos, de uma maneira geral, gera assoreamento das seções de drenagem, com redução da capacidade de escoamento dos condutos, rios e lagos urbanos (TUCCI e ORSINI, 2005).

Segundo Taylor e Owens (2009), as principais fontes de geração de sedimentos em rios urbanos são:

- naturais: deposição de particulados da atmosfera, deslizamentos e fluxos de detritos, erosão de solos provocados pela água e vento, erosão de margens de rios e de depósitos de áreas alagadas, ressuspensão de sedimentos de leitos de canais devido a mudanças no escoamento de águas;

- antropogênicos: constituem a principal fonte de geração, pelo menos como carga de contaminantes, estando incluídas as atividades de mineração, construção civil, rede urbana de ruas, avenidas e estradas, fontes industriais pontuais e lançamentos de esgotos e outros efluentes.

Com relação ainda aos sedimentos provenientes de ruas e estradas, as fontes específicas de geração destes sedimentos incluem: emissões veiculares de particulados que se depositam nas ruas, desgastes de freios e pneus, materiais de construção civil, partículas de solo e restos de plantas e folhas (TAYLOR e OWENS, 2009).

Os principais contaminantes, bem como as fontes prováveis, estão relacionadas no Quadro 1.



CONTAMINANTES	FONTES PROVÁVEIS
cobre	desgaste e corrosão de veículos
zinco e cádmio	desgaste de pneus
cromo, bromo, manganês	desgaste de freios e pneus
PAHs	queima de biomassa e emissões veiculares
pesticidas e herbicidas	áreas de jardinagem e residências

QUADRO 1 - EXEMPLOS DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO EM SEDIMENTOS URBANOS

FONTE: TAYLOR e OWENS, 2009

Os sedimentos dentro das bacias urbanas são considerados as maiores fontes de poluição difusa, sendo que a fração de material mais fino é a mais problemática, por aumentar a turbidez dos rios, prejudicando os processos biológicos e ecológicos nos mesmos. Além disso, a contribuição de sedimentos causa assoreamento nos canais, diminuindo o volume de escoamento e aumentando assim o risco de ocorrência de enchentes (TAYLOR e OWENS, 2009).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS E MATERIAIS DRAGADOS

Segundo Bray (2008), os sedimentos originam-se da decomposição de rochas por ação do tempo, em um fluxo rápido e turbulento de águas. Grandes peças de rochas podem ter a mesma composição da rocha-mãe, mas sedimentos como areia e argila são partículas de composição mineral homogênea. O quartzo é um mineral muito durável, que podem diminuir em tamanho, originando as areias, mas mantêm a mesma identidade química; já a argila é produto do intemperismo de silicatos, tais como feldspatos, micas e outros. Os sedimentos podem ser divididos em 2 grupos: os coesivos, compostos de sedimentos finos, tais como argilas, e não-coesivos, que são os sedimentos grosseiros e areias.

Sua importância em um contexto de proteção ambiental e gerenciamento de águas é que eles servem de depósito de muitos produtos químicos, em especial, metais pesados e compostos orgânicos, tais como bifenilas policloradas (BCPs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) e pesticidas, os quais podem ser transferidos para os organismos que habitam este ambiente (BRAY, 2008).

De acordo com Bray (2008), tais contaminantes podem ser reflexo dos descartes industriais, urbanos e da agricultura pela rede de drenagem até os corpos aquáticos. No entanto, os sedimentos podem conter substâncias de origem natural,

por exemplo, metais, podendo ou não trazer riscos aos organismos aquáticos, dependendo de sua biodisponibilidade.

### *2.2.1 Constituintes do material dragado*

Todo o sedimento que é retirado com uso de equipamentos de dragagem e de limpeza de rios será denominado, neste trabalho, como sedimento. Visualmente, este material pode conter, além do próprio sedimento, solo retirado de calha de rios, lodos e lixo, principalmente quando os corpos aquáticos em questão, seja rios, lagos ou mares, estão poluídos.

De acordo com Monteiro<sup>1</sup> (*apud* CASTIGLIA, 2006, p.37), o material dragado é constituído de partículas minerais que variam em areia grossa a fina, silte e argila, além de outros materiais, tais como pedras, madeira, pedaços de metais, vidros, água e matéria orgânica.

#### *2.2.1.1 Fração argilosa*

De acordo com Castiglia (2006), os argilominerais caracterizam-se por possuírem uma estrutura cristalina formada a partir de unidades cristalinas compostas essencialmente por sílica e alumina. Uma de suas propriedades é a capacidade de substituir parcialmente os íons originais destas unidades por outros cátions por processo de adsorção.

Este comportamento é relevante para a avaliação de potencial de contaminação por metais pesados: eles podem ser adsorvidos por partículas de argila, havendo então liberação de cátions menos nocivos, tais como sódio, potássio, cálcio e magnésio (CASTIGLIA, 2006).

#### *2.2.1.2 Matéria orgânica*

A matéria orgânica presente nos sedimentos é formada tanto por substâncias resultantes da decomposição de animais e vegetais, associadas ao solo, tanto das resultantes de processos físicos, químicos e biológicos associados a esta decomposição. Essa matéria, por ser altamente hidrofílica (ou seja, com capacidade de absorção de água) e apresentar elevada capacidade de complexar e trocar íons, possui uma elevada capacidade de reter substâncias químicas nos sedimentos (CASTIGLIA, 2006). O material orgânico normalmente contém muito dos elementos

---

<sup>1</sup> MONTEIRO, M.T. Emprego da Fitorremediação em Sedimento Contaminado com Metais Pesados e Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs) Provenientes do Canal do Fundão na Baía de Guanabara – RJ, Exame de Qualificação ao Doutorado, PEC – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

necessários ao desenvolvimento de plantas, tais como nitrogênio e enxofre (BRAY, 2008).

Uma das formas de se avaliar seu conteúdo é o parâmetro carbono orgânico total. Em solos, o carbono orgânico compreende um teor de 48-58% do material orgânico presente (BRAY, *op cit*).

### 2.2.1.3 Contaminantes

As substâncias estranhas nos sedimentos e que não são naturalmente constituintes são chamados contaminantes. A importância de se conhecê-las auxilia na definição de técnicas adequadas do seu gerenciamento.

Os principais contaminantes são os nutrientes (nitrogênio), metais pesados e compostos orgânicos (CASTIGLIA, 2006). Um indicativo de sua presença nos sedimentos é a existência de silte, argila e matéria orgânica, devido a sua capacidade de adsorção de substâncias (MONTEIRO *apud* CASTIGLIA, 2006).

#### (a) Nutrientes

Os nutrientes podem ocorrer naturalmente nos sedimentos, mas também podem ser de origem antrópicas poluidoras. A contaminação do sedimento se dá em função da sua forma de ocorrência, bem como da quantidade presente (CASTIGLIA, 2006).

O nitrogênio, por exemplo, é um importante nutriente para os organismos vivos, uma vez que ele participa das reações de formação de proteínas e pelo metabolismo das células. Suas principais fontes de ocorrência são as chuvas, materiais orgânicos e inorgânicos e pode se apresentar na forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), amoníaco ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ) (CASTIGLIA, 2006).

Ele também pode estar presente no esgoto doméstico na forma de amoníaco, que em condições de pH alcalino ou na degradação anaeróbica, libera amônia para a coluna d'água. Em altas concentrações, a amônia é tóxica; segundo Esteves<sup>2</sup> (*apud* CASTIGLIA, 2006), em ambientes com pH maior que 9 e temperaturas acima de 26°C, uma concentração de amônia maior ou igual a 0,25 mg/L afeta o crescimento de peixes e maior ou igual a 0,50 mg/L mata 50% da

---

<sup>2</sup> ESTEVES, F. A., **Fundamentos de Limnologia**, 2. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

população. O nitrogênio pode provocar ainda o fenômeno da eutrofização e, portanto, deve ser considerado como parâmetro de avaliação ambiental.

*(b) Metais pesados*

Os metais pesados presentes nos corpos aquáticos podem se originar do intemperismo de rochas, erosão de solos, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, atividades de mineração, adubos químicos e defensivos agrícolas (ESTEVES, *op. cit.*).

Os metais são extremamente reativos e por isso estão envolvidos em muitos mecanismos de interação entre o meio e o contaminante. Além disso, não se degradam e se acumulam no sedimento por tempo indeterminado (MONTEIRO, *op. cit.*). No entanto, nem todos os metais são tóxicos: elementos como o manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe), se presentes em pequenas quantidades, são essenciais aos organismos vivos. Já o mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), além de não possuírem função biológica, produzem efeitos tóxicos ao meio ambiente, principalmente na forma de íons ou ligados em cadeias curtas de átomos de carbono. Por outro lado, eles não são tóxicos em suas formas elementares livres (BAIRD, 2002).

O Quadro 2 apresenta um resumo dos efeitos de alguns metais pesados no organismo, bem como as fontes de geração dos mesmos e aplicações industriais.

METAL	EFEITOS EM ORGANISMOS	FONTES ANTROPOGÊNICAS/USOS
Cádmio (Cd)	Altamente tóxico para plantas e animais Cumulativo no organismo humano Causa aumento de porosidade nos ossos e doenças renais	Indústria: estabilizante e pigmento na fabricação de plástico, siderúrgica, pigmento para tintas, baterias de Ni-Cd, células fotoelétricas, monitores de televisão;  Outras: fertilizantes fosfatados, fumaça do cigarro, incineração de resíduos, combustão do carvão
Cobre (Cu)	Micronutriente: importante para plantas, homem e animais;  Tóxico para o homem somente acima de um determinado valor;  Tóxico para plantas aquáticas e alguns peixes	Indústria: química;  Agricultura: fertilizantes, fungicidas, bactericidas, esterco de porco e de galinha;  Outras: esgoto doméstico, corrosão de tubulações, cinza de usinas termoelétricas
Chumbo (Pb)	Altamente tóxico para o homem e animais, provável cancerígeno; nenhum efeito benéfico	Indústria: química, pigmentos para tintas, baterias automotivas, solda na fabricação de eletrônicos;  Agricultura: esterco de animais, adubo de Estações de tratamento de esgoto;  Outros: isolamentos acústicos, antigo aditivo da gasolina

Continua

Continuação

METAL	EFEITOS EM ORGANISMOS	FONTES ANTROPOGÊNICAS/USOS
Cromo (Cr)	Micronutriente: a deficiência é problemática;  Os cromatos são tóxicos, provável cancerígeno	Indústria: metalúrgica, fabricação do cimento, química;  Outras: combustão do carvão mineral
Níquel (Ni)	Micronutriente: a necessidade é pequena, sendo facilmente satisfeita;  Tóxico para plantas e animais, em quantidades excessivas; há indícios de que é cancerígeno quando inalado	Indústria: produtos derivados de petróleo, baterias de Níquel-Cádmio, componentes elétricos, manufatura de aço inoxidável
Zinco (Zn)	Micronutriente: elemento essencial para o homem, plantas e animais;  Tóxico em concentrações muito elevadas, sobretudo em plantas	Indústria: química e metalúrgica; Agricultura: fertilizantes, pesticidas, esterco;  Outras: esgoto

QUADRO 2 - PRINCIPAIS METAIS PESADOS, EFEITOS EM ORGANISMOS E FONTES ANTROPOGÊNICAS/USOS

FONTE: adaptado de BARBOSA<sup>3</sup> (1998, *apud* CASTIGLIA, 2006); BAIRD (2002)

De acordo com Baird (2002), os íons metálicos são adsorvidos pelas partículas em suspensão, as quais se decantam no fundo de corpos aquáticos, acumulando-se sobre outros sedimentos depositados. Este mecanismo funciona, por um lado, como um processo de purificação de águas, no entanto, devido a processos de dessorção, os poluentes podem retornar à água, ou então ser ingeridos por organismos aquáticos.

Uma forma de se determinar a contaminação de sedimentos é determinar as quantidades de metais pesados presentes em uma amostra. No entanto, esta técnica é falha ao se tentar diferenciar os metais pesados já dissolvidos em sua forma tóxica (ou que sejam capazes de ressolubilizar em água) daqueles que estão fortemente adsorvidos nas partículas e com improvável ressolubilização. Assim, para avaliação do potencial de contaminação, é necessária uma avaliação dos contaminantes nos extratos em solução fracamente ácida. Assim, os elementos permanentemente ligados não são computados (BAIRD, 2002).

Outro aspecto importante a ser observado é o fato dos metais poderem ocorrer naturalmente em alguns ambientes; assim, o seu grau de contaminação é relativo a uma concentração já existente no local (de fundo), ou seja, a um valor de referência. Valores orientadores para metais pesados em sedimentos em águas jurisdicionais brasileiras são apresentados na Resolução CONAMA nº 344/04

<sup>3</sup> BARBOSA, M.C., **Tipos de Rejeitos e Contaminantes**, Notas de Aula da Disciplina Geotecnia Ambiental, COOPE/UFRJ, 1998.

(CONAMA, 2004). No Estado do Paraná, uma referência dos valores basais de metais pesados para sedimento de fundo pode ser encontrada no Atlas Geoquímico elaborado pela MINEROPAR (2001).

*(c) Compostos orgânicos*

Os compostos orgânicos são de ocorrência antrópica, podendo ser provenientes da indústria química e petroquímica, organoclorados, resíduos de pesticidas e outros. Assim, causam contaminação em qualquer concentração, não se aplicando, por exemplo, valores de referência de qualidade.

Entre as propriedades mais relevantes, destaca-se seu elevado peso molecular, baixa solubilidade em água e as baixas velocidades de degradação a que são submetidas; de forma geral, compostos de baixo peso molecular são degradados mais facilmente. Esses processos de degradação podem, no entanto, gerar produtos mais ou menos tóxicos que suas respectivas formas originais. A adsorção por partículas sólidas em suspensão também é uma propriedade importante, uma vez que a sedimentação pode propiciar um ambiente danoso para organismos aquáticos (CASTIGLIA, 2006).

Segundo Goes Filho (2004), os principais compostos orgânicos incluem as bifenilas policloradas (BCPs), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), pesticidas e dióxidos. Deve ser observado que a necessidade de sua caracterização deve ser avaliada caso-a-caso, de modo que decisões quanto à disposição final de material dragado devem ser baseadas nas substâncias existentes nos sedimentos, em informações de histórico de contaminações do local e listas prioritárias de substâncias a serem determinadas.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) são uma família de compostos caracterizada por possuírem dois ou mais anéis aromáticos condensados. De acordo com Pereira Netto (2000), estas substâncias têm ampla distribuição e são encontrados como constituintes de misturas complexas em todos os compartimentos ambientais: água, ar, solo, sedimentos, biota.

Os representantes dessa família são: acenaftileno, acenafteno, antraceno, benzo(a)pireno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, coroneno, criseno, dibenzo(a,c)antraceno, fluoranteno, fenantreno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno (HARITASH e

KAUSHIK, 2009). As fórmulas químicas de algumas destas substâncias podem ser visualizadas na Figura 1.

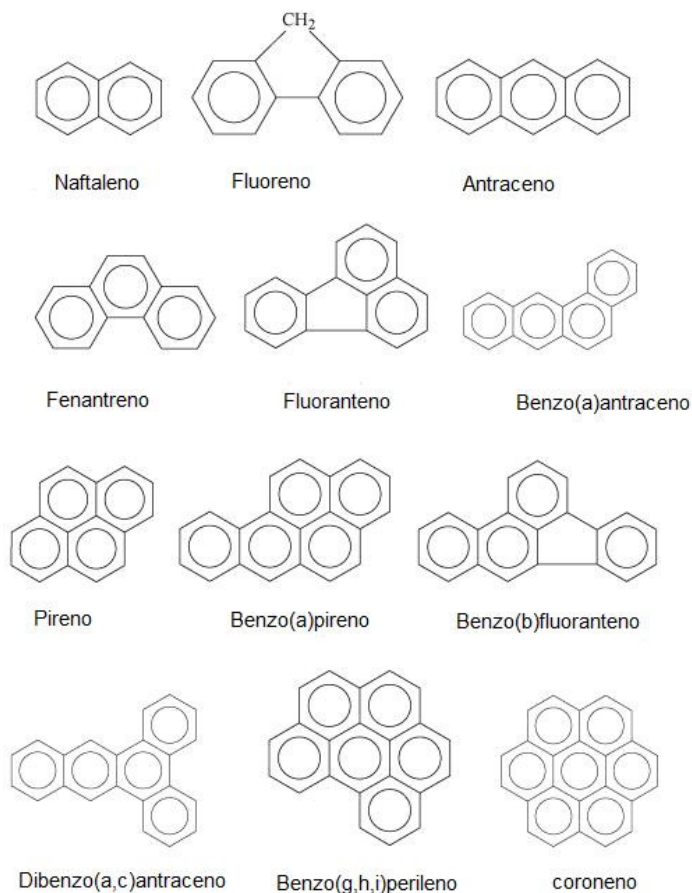


FIGURA 1 – EXEMPLOS DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS

FONTE: Haritash e Kaushik (2009)

As fontes principais são os processos de combustão de material orgânico (em especial, a exaustão de motores a diesel ou a gasolina), a queima de carvão, fotocopiadoras, emissões atmosféricas de incineradores de resíduos, a fumaça de cigarro e processos industriais tais como a produção de alumínio e a gaseificação do coque; além disso, também são componentes do óleo diesel, óleo lubrificante usado e outros derivados de óleo (KAIPPER, 2003; PEREIRA NETTO, 2000; HARITASH e KAUSHIK, 2009). Em ambientes urbanos, podem estar presentes nas águas de escoamento superficial de sujidades das ruas, tais como detritos de asfalto e de pneus (KELDERMAN *et al.*, 2000).

Estudos feitos na Inglaterra estimam o lançamento de cerca de 54.000 toneladas dessas substâncias no Reino Unido. Os processos de combustão são responsáveis por emitirem de 1.000 ton/ano, sendo que aproximadamente 8% destas emissões provêm de veículos motorizados. Esta contribuição é maior nas

grandes cidades; mas outros processos, tais como incêndios em florestas, também podem emitir quantidades significativas (PEREIRA NETTO, 2000).

Suas características principais são (BAIRD, 2002):

(a) a baixa solubilidade em água, a qual diminui com o aumento no número de anéis aromáticos;

(b) coeficientes elevados de partição octanol-água, que aumentam com o número de anéis, o que demonstra uma grande afinidade com tecidos gordurosos de peixes e seres vivos, bem como com a matéria orgânica presente em sedimentos;

(c) volatilidade decrescente em relação ao aumento do peso molecular da substância.

Como consequência destas características, essas substâncias podem ser encontradas tanto na fase gasosa como adsorvidas em material particulado. No solo e sedimentos, essas substâncias encontram-se adsorvidas e ficam retidas nas camadas superiores. Os tempos de degradação de meia-vida dos compostos de maior peso molecular são relativamente elevados, o que sugere uma lenta degradação (PEREIRA NETO, 2000).

Os PAHs não se degradam em condições naturais e sua persistência aumenta com o seu peso molecular. Além disso, eles são considerados contaminantes tóxicos, mutagênicos e carcinogênicos e sua importância é atribuída à presença em vários compartimentos ambientais, resistência à biodegradação e potencial para bioacumulação (HARITASH e KAUSHIK, 2009).

O PAH carcinógeno mais conhecido é o benzo(a)pireno, que é um subproduto comum da queima incompleta de combustíveis fósseis, resíduos e madeira. Na região urbana dos Grandes Lagos, nos Estados Unidos e Canadá, sua concentração nos sedimentos excede o limite da legislação vigente. Além disso, ele pode se acumular na cadeia alimentar, em função do seu elevado coeficiente de partição octanol-água, comparável a muitos inseticidas organoclorados. Um outro carcinógeno é o benzo(a)antraceno (BAIRD, 2002).

Para o caso de avaliação de PAHs em sedimentos, sugere-se o estudo do rastreamento das fontes de PAHs, investigando-se as proporções entre os diferentes componentes (GSCHWEND e HITES <sup>4</sup>, 1981, MASTRAN <sup>5</sup> *et al.*, 1994, *apud*

---

<sup>4</sup> GSCHWEND, P.M., HITES, R.A. Fluxes of PAHs to marine and lacustrine sediments in the northern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 45, 1981, p. 2359-2367.



KELDERMAN *et al.*, 2000). Assim, uma proporção fenantreno/antraceno em sedimentos:

(a) maior que 15: refletem deposição de PAHs provenientes de emissões veiculares;

(b) entre 3 e 15: indicam uma combinação de todas as fontes de PAH e será especialmente encontrada em áreas urbanizadas.

### *2.2.2 Propriedades químicas do material dragado*

Ao se considerar a disposição de material dragado no solo, a realização de testes químicos pode auxiliar na determinação de sua adequação para um uso particular de solo, seja ele residencial ou industrial, principalmente para verificar se efeitos potenciais adversos no local de disposição podem ocorrer. Os efeitos que os constituintes químicos podem trazer são: toxicidade às plantas, animais, nas águas subterrâneas e superficiais (USACE, 1987).

Esses testes indicam também se o material pode ter um uso direto para outras finalidades ou se são necessários novos testes para identificação de alternativas de tratamento e/ou recuperação do material, bem como outros monitoramentos e controles a serem feitos nos locais de aplicação do material, de modo a permitir tais usos (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Os testes químicos também são necessários quando há suspeita de contaminação no material dragado e envolve o levantamento de informações históricas sobre ocorrências de contaminações no local, bem como a existência de prováveis emissões provenientes de áreas industriais, agrícolas e urbanas no corpo aquático (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Os parâmetros químicos usualmente testados são metais pesados, nutrientes (tais como nitrogênio), compostos orgânicos e carbono orgânico total (USACE, 1987; BRAY, 2008).

Esses parâmetros podem ser avaliados das seguintes formas: (BRAY, 2008)

(a) comparação com valores regulatórios constantes em legislações ambientais ou em diretrizes orientativas, os quais devem ser tecnicamente apropriados para o uso em questão e que possam prover uma margem adequada de segurança ambiental;

---

<sup>5</sup> MASTRAN, T. A., DIETRICH, A. M., GALLAGHER, D. L., GRIZZARD, J. T. Distribution of PAHs in the water column and sediments of a drinking water reservoir with respect to boating activities. **Water Resources**, v. 28, 1994, p. 2353- 2366.

(b) comparação com valores de referência locais: valores de qualidade já conhecidos e que são considerados como de ocorrência natural, de modo que se as concentrações de substâncias no material dragado não os excederem, o material pode ser considerado aceitável do ponto de vista ambiental.

Não se recomenda a utilização de critérios de qualidade de solo para avaliar sedimentos e tampouco os de sedimentos são apropriados para avaliação de material dragado a ser disposto no solo. Além disso, o fato de um valor regulatório ser excedido não significa necessariamente que os impactos ambientais serão menores se, ao invés de permanecer no corpo aquático, o sedimento for disposto no solo (BRAY, 2008).

## 2.3 USO DE SEDIMENTOS PARA OUTRAS FINALIDADES

### 2.3.1 *Introdução*

O termo “uso de sedimentos” diz respeito a sua aplicação para fins de prover efeitos úteis ao meio ambiente ou ao homem e será referido a todo sedimento ou material dragado que necessite ou não de prévio tratamento para esta aplicação.

Mundialmente, o desenvolvimento urbano de locais vizinhos a áreas marítimas e fluviais vem causando aumento na produção de material dragado, gerando uma demanda que pode ser futuramente usada em várias aplicações de engenharia (GOES FILHO, 2004). Nos Estados Unidos, o interesse em se buscar alternativas de uso surge também das dificuldades inerentes em se encontrar áreas disponíveis para disposição da grande quantidade gerada de material dragado. As novas legislações ambientais têm restringido as opções de disposição no solo ou águas; ainda, os custos de dragagem vêm aumentando, devido à necessidade de transporte do material para disposição em locais mais distantes e para o controle ambiental. Assim, é possível atingir pelo menos dois objetivos ao se tratar o material dragado como um recurso natural: a minimização dos impactos ambientais adversos da dragagem e o aumento dos benefícios advindos do uso (USACE, 1987).

Aproximadamente 90% do material dragado pode ser considerado não-contaminado, de acordo com os níveis estabelecidos por legislações, podendo então ser utilizado para outras finalidades. O restante é considerado contaminado, como resultado das atividades industriais, agrícolas e domésticas; mesmo assim, estes materiais têm potencial de uso, podendo requerer ou não um prévio tratamento para estabilização ou remoção dos contaminantes (BRAY, 2008).

A qualidade do material dragado varia normalmente com o local de dragagem e sua natureza, conforme seu teor de areia, silte e/ou argila: a presença de contaminantes é maior no material que possui maior teor de silte e argila (USEPA e USACE, 2007).

O uso do material dragado depende, fundamentalmente, da sua qualidade, sendo possível então, a partir destes dados, estabelecer faixas de uso deste material, considerando-se também os custos operacionais e a aceitação ambiental. Assim, por exemplo, os materiais arenosos são adequados para construção de aterros ou diques, no entanto, têm limitações para plantio de vegetação, devido ao seu baixo teor de nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (BRAY, 2008).

A avaliação do nível de contaminação constitui uma etapa importante na avaliação das alternativas de uso para outras finalidades; em geral, quanto maior a contaminação, mais restritas serão estas opções. O mais importante não é tanto se o material está contaminado, mas se o tipo e o nível de contaminação são consistentes com o uso pretendido e atendem às disposições legais locais (USEPA e USACE, 2007). Por exemplo, a aplicação de material para agricultura deve estar livre de microorganismos patogênicos, bem como de contaminantes que possam ser absorvidos pelas plantas; já para fins de construção civil em áreas industriais, o material não necessita estar necessariamente limpo, mas os contaminantes devem estar imobilizados, de modo que não ocorra sua lixiviação no meio ambiente (BRAY, 2008).

Os principais tipos de uso de sedimentos para outras finalidades são agrupados nas seguintes categorias (BRAY, 2008; GOES FILHO, 2004):

(a) Usos na Construção Civil, sendo que os exemplos mais típicos são: materiais de construção, recuperação de áreas contaminadas, coberturas de aterros, preenchimento de containeres geotêxteis, parques e usos recreativos;

(b) Usos em Agricultura, Horticultura e Reflorestamento.

É possível ainda haver uma combinação desses usos em uma mesma área, desde que haja um planejamento adequado, de modo a evitar conflitos entre eles. Assim, por exemplo, uma área recreacional pode ser construída encima de um aterro encerrado que utiliza material dragado como cobertura (BRAY, 2008).

Para a escolha das opções de uso, Bray (2008) sugere ainda que devam ser avaliados:

(a) os padrões e restrições legais existentes;

(b) as características físicas e químicas do sedimento, bem como outros parâmetros específicos, se necessário;

(c) a viabilidade operacional, ou seja, se há material em quantidade suficiente e adequado ao mesmo tempo e lugar em que surge a necessidade do uso;

(d) a aceitabilidade ambiental da área que receberá o material, por meio da execução de estudos dos impactos nas cadeias de processo, em caso de uso para construção civil.

De acordo com Great Lakes Commission (2004), se não existirem critérios legais e regulamentares para avaliação química, bem como exigências para o uso proposto, deve-se utilizar limites especificados similares; por exemplo, para resíduos sólidos e lodos de esgoto. Em muitos casos, o órgão ambiental pode dar uma decisão final quanto à forma de avaliação. Em geral, os limites de concentração de contaminantes aceitáveis dependem do uso proposto e podem ser ajustados se forem utilizados monitoramentos da área de exposição, por exemplo, avaliação do solo e águas subterrâneas.

### *2.3.2 Usos na construção civil*

#### *2.3.2.1 Material de construção*

De acordo com Bray (2008), as frações de areia, argila e cascalho do material dragado podem ser utilizadas como matéria-prima alternativa na indústria da construção civil, bem como material para enchimentos, recuperação de áreas, fundações de estradas e barreiras acústicas. No entanto, siltes e argilas, por se consolidarem somente após um longo período de tempo, não podem ser aplicadas imediatamente.

Nestas aplicações, geralmente requer-se que o material seja desidratado e a composição em termos de areia, argila e cascalho é que serão determinantes para sua aplicação. Um exemplo disto é que um material usado para construção de estradas deve ser capaz de suportar a carga do tráfego de veículos. A desidratação ou a mistura com outros materiais para adequação pode, no entanto, encarecer o custo da obra (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Materiais com baixos níveis de contaminação podem também encontrar aplicações na construção civil, mas é necessária uma avaliação das possibilidades de migração dos contaminantes por transporte de particulados, lixiviação, escoamento superficial ou outros caminhos (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

### *2.3.2.2 Recuperação de áreas contaminadas e cobertura de aterros*

O material dragado fino e seco pode ser utilizado para coberturas de aterros e recuperação de áreas contaminadas e abandonadas, desde que o material atenda a critérios físicos e químicos, bem como às exigências para cobertura de aterros, caso existam. Uma das restrições para estes usos é a necessidade de uma área grande para secagem e desidratação do material, visando principalmente à redução da formação de percolados que poderiam contaminar solos e águas subterrâneas e superficiais. Devido ao limitado acesso humano e potencial de proteção contra erosão, pode até ser admitida a utilização de um material moderadamente contaminado (USEPA e USACE, 2007).

Nestas aplicações, o material dragado pode ser misturado com outros materiais, tais como folhas e composto orgânico, o que pode auxiliar também na biodegradação de compostos orgânicos existentes, mas deve haver um controle da granulometria. Os custos de desidratação e mistura, bem como a aceitação pública, devem ser ponderados nestas aplicações (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Um exemplo desta aplicação é a do Projeto Jersey Gardens Mall, em que uma operação de remediação utilizando material dragado, previamente analisado e tratado com adição de estabilizantes (cinzas do forno de cimento e/ou cimento Portland), foi feita em uma área de antigo aterro municipal, na Baía de Newark, Estados Unidos. O material dragado, proveniente do Porto de Nova Iorque/Nova Jérsei, foi utilizado como cobertura e como preenchimento estrutural no local, visando recuperação da área e construção de um centro comercial (USEPA e USACE, 2007).

Outro destaque é o uso de material em cobertura de aterros de disposição de resíduos sólidos. Usualmente utiliza-se argila compactada como cobertura final, devido a sua baixa permeabilidade, o que reduz a infiltração de água e transporte de contaminantes, maximizando o escoamento superficial. O material dragado limpo, siltoso e argiloso, por possuir características físicas semelhantes, pode substituir esta argila (MOHAN e HERBICH, 1997).

Esta utilização requer prévia desidratação ou secagem a um nível de umidade compatível com o solo natural, pois um alto teor de umidade prejudica seu manuseio, especialmente nos trabalhos de compactação e formação dos taludes,

além de haver formação de percolados, o que exige sua adequada drenagem (GREAT LAKES COMISSION, 2004).

A concentração de contaminantes não é tão crítica como em outras aplicações, pois muitos aterros sanitários possuem estrutura para coleta de percolados para tratamento e possuem poços de monitoramento das águas subterrâneas; mas, ainda assim, ela deve ser levada em conta (GREAT LAKES COMISSION, 2004).

O material dragado com alto teor de água e contaminantes pode também passar por um tratamento por adição de produtos, tais como cimento, cinzas, argilas, fosfatos ou pó de cal, para imobilização de substâncias e estabilização. Um exemplo desta aplicação ocorreu na cidade de Bremen, Alemanha, em que material dragado desidratado e estabilizado foi usado em uma área de disposição de resíduos industriais (HAMER, DESSEL e HAKSTEGE, 2007).

Mohan e Herbich (1997) desenvolveram estudos para avaliar o uso de material dragado para cobertura de aterros, avaliando-se:

- (a) parâmetros físicos do material dragado: pH, conteúdo de água, permeabilidade, textura, consistência, conteúdo de material orgânico e sais;
- (b) operações envolvidas: aplicação direta do material ou sua prévia desidratação, necessidade de áreas de manuseio, separação de material e tratamento de sedimentos contaminados.

Bartos (1977) avaliou a viabilidade da utilização de material dragado como material construtivo em aterros sanitários. O Quadro 3 apresenta um resumo das conclusões obtidas neste estudo, conforme o tipo de material dragado a ser utilizado.

TIPO DE MATERIAL DRAGADO	USO
Material grosseiro	drenagem de percolados e gases
Material fino	coberturas de massas de resíduos barreiras laterais de proteção de gases e percolados camada impermeável de proteção do lençol freático

QUADRO 3 - USOS DOS TIPOS DE MATERIAL DRAGADO COMO MATERIAL CONSTRUTIVO EM ATERROS

FONTE: BARTOS (1977)

Bartos (1977) sugere ainda, neste estudo, a classificação do material dragado como solo, seguindo as orientações do sistema unificado de classificação de solo (Unified Soil Classification System – USCS), usado nos Estados Unidos,

para fins de comparação com as características de solo natural necessárias para coberturas de aterros.

#### *2.3.2.3 Preenchimento de containeres geotêxteis*

Tecidos sintéticos (geomembranas) são usados há mais de 30 anos na fabricação de bolsas, containeres e tubos a serem preenchidos com areia. Mais recentemente, containeres desse tipo preenchidos com material dragado fino vêm sendo usados na construção civil, bem como para proteção costeira (por exemplo, em bermas submersas e quebra-mares) e controle de erosão. Estes containeres podem ser utilizados ainda para retirada de água do material dragado, através da aplicação de um peso sobre as bolsas (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Esses tecidos também estão sendo usados para contenção de sedimentos e material dragado finos contaminados, visando sua disposição final. Foi demonstrado que eles têm capacidade para reter aproximadamente 100% deste material (FOWLER, BAGBY e TRAINER, 2000).

A bolsa geotêxtil é um compartimento permeável que é preenchido com material dragado por bombeamento hidráulico. A pressão que é exercida por este bombeamento permite que a água escoe através dos poros desta membrana e o material sólido permanece em seu interior. Como a tensão de cisalhamento cresce com o preenchimento de material, este conteúdo sólido resultante é adequado para uso como material de construção (PILARCZYK, 2000).

Para evitar o arraste excessivo de material fino, pode ser necessário o uso de floculadores nessas bolsas (GREAT LAKES COMMISSION, 2004). É possível adicionar outros produtos (cimento, pó de cal) para imobilizar contaminantes, bem como conferir um efeito tampão no material dragado (HAMER, DESSEL e HAKSTEGE, 2007).

Um exemplo desta aplicação é o preenchimento de containeres com sedimentos contaminados removidos na dragagem do Canal do Fundão, no Rio de Janeiro, que após aplicação de polímeros para aglomeração, serão usados para fins de reurbanização da região (ESTADO, 2009; AULER, 2010; DRAGAGEM, 2010).

#### *2.3.2.4 Parques e usos recreativos*

Este uso é normalmente associado com outros usos, tais como o desenvolvimento de habitats para a vida selvagem e peixes, bem como criação de camadas para cultivo de árvores (BRAY, 2008).

O material deve ter teores adequados de areia/silte e argila, bem como de salinidade, nutrientes e contaminantes e, em caso de uso para plantio, as exigências agronômicas também devem ser atendidas. Assim, por exemplo, para construção de uma cancha esportiva, o material a ser aplicado deve ser mais grosseiro para promover a drenagem e suportar a movimentação de pessoas (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Um exemplo deste uso é citado por McClure<sup>6</sup> (1988, *apud* USEPA e USACE, 2007) na construção do canal de navegação do Tennessee-Tombigbee, em que as áreas de disposição foram isoladas, preenchidas com material dragado e cultivadas, de modo a controlar erosão e promover habitat para vida selvagem. As atividades desenvolvidas nestas áreas incluem lagos para natação e passeios de barco, pistas para caminhadas e ciclovias e áreas para observação da vida silvestre. O risco de contaminação humana é minimizado quando se utiliza um material limpo ou com baixo teor de contaminantes; no entanto, um cuidado especial logo após a aplicação do material é requerido, por causa da possibilidade de haver emissão de metais pesados, por oxidação, de compostos voláteis e erosão nas áreas adjacentes.

### 2.3.3 Usos na agricultura, horticultura e reflorestamento

O material dragado, com teor adequado de nutrientes e ausência de ervas daninhas, pode ser utilizado em solos, promovendo melhoria das características químicas, tais como retenção de água e provimento de nutrientes para as plantas. O material dragado de rios é, em geral, excelente para o melhoramento da qualidade agrícola de solos pobres das margens dos rios (BRAY, 2008).

A presença de contaminantes, que podem se acumular nas plantas e contaminarem águas superficiais e subterrâneas, e a necessidade de prévia desidratação do material, pode limitar tais usos. A granulometria do material é importante para condicionamento de solos, por exemplo, na adição de material arenoso em solo com alto teor de argila (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

Nos Estados Unidos e Bélgica, o material dragado biorremediado é misturado com composto orgânico e lodo de esgoto doméstico tratado para produzir um “solo manufaturado” para projetos de paisagismo. Na Alemanha, o material

---

<sup>6</sup> McCLURE, N.D. Innovative Recreational and Commercial Uses of Dredged Material on the Tennessee-Tombigbee Waterway. In: LANDIN, M.C. (ed.), **Inland Waterways: Proceedings of a National Workshop on the Beneficial Uses of Dredged Material**, St. Paul, MN, 27-30 Out. 1987, **Proceedings ...**, St. Paul, 1987, p. 201-208.



tratado e seco é utilizado no plantio de orquídeas, devendo-se, entretanto, atender aos requisitos de melhoria da qualidade do solo e aos padrões legais (BRAY, 2008).

As aplicações do material dragado na horticultura e no desenvolvimento de florestas marginais são semelhantes às aquelas destinadas à agricultura, sendo que os melhores tipos são os siltes arenosos. Existem várias espécies vegetais de rápido crescimento que se desenvolvem muito bem em faixas de terra recuperadas com material dragado, bem como em solos com um grau de contaminação mais elevado (BRAY, 2008).

Essa utilização também encontra aplicação em áreas urbanas, tais como gramados, parques e nas margens de áreas alagadas, situação esta facilitada pelas baixas exigências requeridas (BRAY, 2008).

#### *2.3.4 Considerações gerais*

Apesar de países como o Japão já utilizarem cerca de 60% do material dragado para outras finalidades, este tipo de alternativa ainda não é muito usual; outros motivos que podem ser apontados são (DEIBEL *et al.*, 2007; BRAY, 2008):

- (a) a existência de uma legislação inconsistente, complexa e confusa, e, em especial, na legislação europeia, em que o material é classificado como resíduo;
- (b) quando existente, a legislação sobre material dragado aponta como critério o teor de contaminantes presentes, sem levar em conta sua biodisponibilidade;
- (c) dificuldades para encontrar e desenvolver mercado para uso dos materiais ou para criar demanda para aplicações ambientais;
- (d) a percepção negativa do público, que pode rejeitar um produto ou aplicação feita a partir de um “resíduo” de dragagem;
- (e) o alto custo envolvido, comparado com a disposição convencional, embora este custo possa ser posteriormente compensado pelo valor do uso do material;
- (f) dificuldades em substituir matérias-primas baratas para construção civil, devido ao custo adicional para tratamento do material dragado;
- (g) tempo e área disponíveis necessários para secagem e tratamento de material.

## 2.4 DISPOSIÇÃO FINAL DE MATERIAL DRAGADO NO SOLO

De acordo com Hamer *et al.* (2005), a disposição de material dragado contaminado no solo pode ser feito com a construção de uma estrutura similar a um aterro sanitário. Neste caso, o material dragado deve atender também a parâmetros físicos, tais como distribuição granulométrica, umidade e viscosidade, o que requer sua prévia desidratação; isto colabora também com a redução no volume final para disposição e no potencial de liberação de contaminantes.

O material sofre modificações químicas após desidratação e disposição, tais como a oxidação de contaminantes, degradação de matéria orgânica, liberação de substâncias voláteis e produtos de decomposição gasosos. Assim, o aterro deve dispor de facilidades que reduzam a infiltração de oxigênio, o controle de produção de gases e lixiviação de contaminantes. Um exemplo disto são as exigências da legislação alemã para construção de tais aterros, tais como distância mínima entre o material disposto e a superfície de águas subterrâneas, a necessidade de uma camada de sedimento impermeável abaixo do material disposto, de camadas adicionais de base e de cobertura do material, monitoramento de percolado e da respectiva concentração de contaminantes, além de um programa de monitoramento do entorno da área de disposição (HAMER *et al.*, 2005).

Outra forma de disposição é a aplicação de material diretamente no solo. No entanto, deve-se considerar que várias mudanças geoquímicas podem ocorrer durante sua exposição. Ao longo do tempo, pode ocorrer redução de seu pH, por conta de sua exposição à chuvas ácidas e à oxidação dos sulfetos em sulfatos, acarretando em aumento da biodisponibilidade e lixiviação de metais adsorvidos; isto pode afetar a qualidade de águas subterrâneas e superficiais, bem como a toxicidade e biodisponibilidade de metais em plantas e animais presentes no local. A oxidação gradual da matéria orgânica pode diminuir o teor de carbono orgânico que adsorve compostos orgânicos, o que pode também aumentar sua mobilidade e biodisponibilidade ao longo do tempo (BRAY, 2008).

## 2.5 EXPERIÊNCIAS COM ANÁLISE DE SEDIMENTO E DESTINAÇÃO FINAL

### 2.5.1 Avaliação química de sedimentos do Rio Barigui

Uma avaliação da qualidade dos sedimentos do Rio Barigui foi realizada por Froehner e Martins (2008) com relação às características granulométricas, teor de

metais pesados (cádmio, chumbo, cromo, níquel e zinco), carbono orgânico total (COT) e nutrientes (nitrogênio).

O Rio Barigui é um dos afluentes da margem direita do Rio Iguaçu, cuja nascente está próximo à divisa dos Municípios de Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul e possui 67 km de extensão. Grande parte do rio percorre o Município de Curitiba, em que há predominância da ocupação urbana, destacando-se os usos residencial, comercial e de serviços.

As amostras de sedimentos de superfície foram coletadas em 6 pontos ao longo do rio, cuja localização pode ser visualizada na Figura 2.

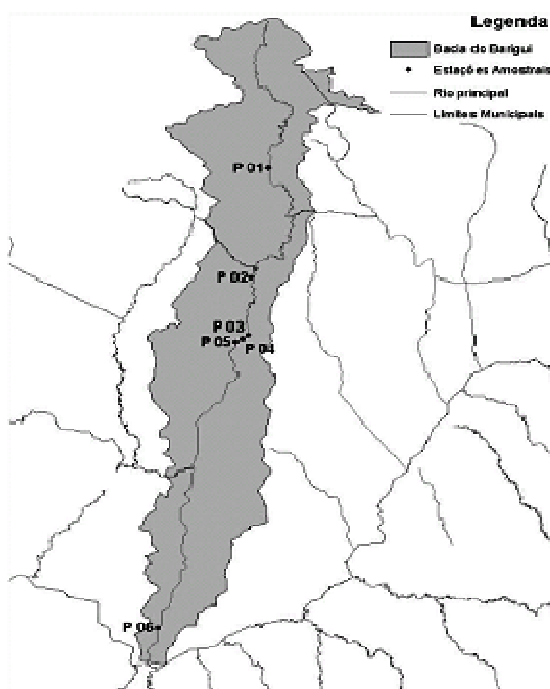


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS NO RIO BARIGUI

FONTE: FROEHNER e MARTINS, 2008

A amostragem dos sedimentos foi feita com utilização de draga tipo “Van Veen”. As análises seguiram os seguintes procedimentos:

(a) carbono orgânico e nitrogênio total: respectivamente, método da combustão e do ácido salicílico;

(b) metais pesados: digestão da amostra com ácido nítrico concentrado, de acordo com o Método EPA 3050B.

Os resultados das concentrações nos sedimentos encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 – TEORES DE CARBONO ORGÂNICO, NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DO RIO BARIGUI

Parâmetro	Pontos de coleta					
	P01	P02	P03	P04	P05	P06
COT (mol/g)	527	1138	1102	428	2694	2537
Nitrogênio total (mol/g)	25,9	63,9	84,1	35,9	127,0	125,0
Zinco (mg/kg)	16,0	48,8	53,6	130,0	130,0	226,0
Chumbo (mg/kg)	4,6	12,0	13,0	25,8	26,0	18,2
Níquel (mg/kg)	2,0	12,0	11,9	12,5	14,2	16,2
Cromo (mg/kg)	6,2	22,4	22,2	30,2	35,2	25,2
Cádmio (mg/kg)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

FONTE – adaptado de FROEHNER e MARTINS (2008)

Avaliando-se os pontos P05 e P06, foi possível observar que os teores de carbono orgânico e nitrogênio são maiores em relação aos demais pontos, pois além de se situarem em pontos do rio em que ocorre uma maior ocupação urbana, o que é associado a um provável maior lançamento de esgotos não-tratados. Além disso, são pontos com teores maiores de silte e argila que, por suas características, permitem um acúmulo maior de material orgânico adsorvido e, conseqüentemente, há uma tendência de adsorção de compostos orgânicos hidrófobos e de metais pesados. De modo geral, as altas concentrações de nitrogênio encontradas em todos os pontos situados em áreas urbanas são associadas ao lançamento de esgotos domésticos não-tratados.

Observa-se também que os maiores teores de zinco, cromo, níquel e chumbo foram encontrados nos pontos P04, P05 e P06, em que o teor de carbono orgânico era maior e que também são pontos em que o rio atravessa áreas de perfil industrial. As concentrações de cádmio estavam abaixo do limite de detecção do equipamento analítico em todos os pontos. Apesar disso, as concentrações obtidas em todos os pontos estão abaixo dos padrões de qualidade para sedimentos, de acordo com a Resolução CONAMA nº 344/04.

O zinco é o metal pesado de maior concentração, em relação aos demais metais, e a presença de indústrias na região avaliada e a drenagem urbana é apontada como uma possível fonte, em que o zinco contido em fertilizantes agrícolas é carregado do solo. Já a presença de maior concentração de chumbo no ponto P05 foi justificada pela presença de estrada rodoviária com intenso tráfego (entrada do Município pela BR-277).

### 2.5.2 Avaliação de material dragado do Rio Tietê e sua disposição final

Esta avaliação foi relatada por Lima (2008), baseado na dragagem executada no Rio Tietê, dentro do Projeto de Rebaixamento e Ampliação da Calha realizado pelo Governo de São Paulo, iniciada em abril de 2002 e com duração de 38 meses.

Previamente à realização dessa dragagem, houve estudos prévios para caracterizar os sedimentos do Rio Tietê quanto às concentrações de contaminantes, por meio da realização de campanhas de amostragem em 1992, 1994 e 1998. Na primeira campanha, foram realizados ensaios apenas de caracterização de massa bruta; nas demais, realizaram-se também ensaios de lixiviação e solubilização.

A título de exemplo, a Tabela 2 apresenta alguns dos resultados das análises químicas da campanha de 1992; as amostras eram constituídas tanto por material retirado do rio como de material junto às dragas. A análise granulométrica apontou que o material era constituído praticamente por areia (45% de areia média; 50% de areia fina; 4% de areia grossa e 1% de silte e argila).

TABELA 2 - RESUMO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS SEDIMENTOS DO RIO TIETÊ EM 1992

Parâmetros	FEVEREIRO DE 1992			AGOSTO DE 1992		
	Arican-duva	Casa Verde	Bandeirantes	Arican-duva	Casa Verde	Bandeirantes
Nitrogênio Kjeldahl total (mg N/g)	0,07	0,04	0,53	Inconsistente	Inconsistente	Inconsistente
Cromo total (mg/kg)	<45	60	45	100	45	150
Cobre (mg/kg)	50	60	<45	<10	<45	<10
Chumbo (mg/kg)	45	45	60	66	58	274
Mercúrio (mg/kg)	<45	<45	<45	<45	70	45
Níquel (mg/kg)	<45	90	45	100	50	10
Prata (mg/kg)	<45	<45	<45	<45	<45	<45

FONTE: BRIGHETTI<sup>7</sup> et al. (1993, p.410, *apud* LIMA, 2008)

NOTAS: As concentrações de pesticidas e aromáticos mononucleados (benzeno, xileno, tolueno) avaliados encontravam-se abaixo do limite de detecção dos equipamentos analíticos.

As obras de rebaixamento da calha do Rio Tietê, em 2002, estenderam-se desde a barragem móvel (foz do Rio Pinheiros) até a Barragem da Penha, numa

<sup>7</sup> BRIGHETTI, G, MORITA, D.M., IKEDA, L.E.S. Caracterização física química e biológica do material de desassoreamento do rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 10. Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, 1., Gramado, 1993. **Anais...** Gramado, 2003, p. 404-413.

extensão aproximada de 24,56 km, dentro do município de São Paulo. Aproximadamente 8 milhões de metros cúbicos de sedimentos (areia, lixo e outros materiais) foram retirados, bem como 800.000 de metros cúbicos de rocha foram escavados.

O processo de dragagem implementado consistiu na escavação submersa, com utilização de dragas ou escavadeiras hidráulicas, e apoio de barcas autopropulsoras para carregamento e transporte do material escavado até um porto, construído em local estratégico na margem do Tietê. Neste porto, o material era retirado da barcaça por draga ou guindaste com “clamshell” e carregado em caminhões basculantes, sendo daí transportado para bota-foras.

O material foi analisado de acordo com a Norma ABNT NBR 10004/1987 para classificação de resíduo sólido. Na época da dragagem, não havia normas específicas para avaliação de sedimentos aquáticos e, portanto, o material foi tratado como resíduo sólido.

As campanhas de amostragem de sedimentos foram efetuadas durante os projetos executivos de dragagem, em 34 pontos do Rio Tietê. Os sedimentos encontravam-se ao redor da foz dos tributários e galerias e possuíam aspecto pastoso.

Na primeira campanha, não foi constatada presença de metais pesados na massa bruta nem no lixiviado, no entanto, concentrações de chumbo, em 10 pontos amostrados, alumínio, ferro e manganês, em 28 pontos, ficaram acima dos padrões da Norma. Esses metais são de ocorrência natural na Bacia do Alto Tietê e na várzea do Rio Tietê, com exceção do chumbo, que é de natureza antrópica.

Em uma segunda amostragem, avaliou-se a extensão da camada de lodo em que foi constatada a presença de chumbo no solubilizado, em pontos localizados 100 metros a montante e 100 metros a jusante, em estacas situadas na confluência de tributários; desta avaliação, resultou um volume total de lodo contendo chumbo de 138.000 m<sup>3</sup>.

Desta forma, este material, que foi classificado como resíduo não inerte, foi segregado e depositado temporariamente nas margens em uma barreira de contenção de madeira, evitando-se assim o retorno de material para o rio. Em caso de ocorrência de chuvas, o material era coberto com plástico. O transporte do mesmo foi efetuado por caminhões até os aterros sanitários da Pedreira, na Rodovia Fernão Dias, e da Caieiras Essencis, localizado à Rodovia dos Bandeirantes. Já o

material restante, classificado como inerte, foi disposto no bota-fora da Lagoa de Carapicuíba e de Jomara, em Guarulhos.

A área da Lagoa de Carapicuíba consistia em um antigo porto de areia, pertencente ao meandro do Rio Tietê, que é o limite entre o município de Barueri e Carapicuíba. As cavas de mineração existentes foram consideradas áreas apropriadas para disposição de resíduos sólidos inertes (Classe III, de acordo com a Norma NBR 10004/1987), de acordo com a Resolução SMA 034, de 06 de maio de 1996, do Estado de São Paulo, vigente na época (SÃO PAULO, 1996). Desta forma, essa solução apresentava-se interessante, tanto para fins de recuperação de áreas degradadas, como para aproveitamento da área para criação de parques e áreas de lazer.

#### *2.5.2.1 Monitoramento realizado na Lagoa de Carapicuíba*

Em função de uma denúncia publicada em dezembro de 2002, a CETESB efetuou duas novas campanhas de amostragem de água e sedimentos da Lagoa de Carapicuíba, bem como do material dragado depositado, respectivamente em dezembro de 2002 e março de 2003 (MONITORAMENTO, 2003).

A amostragem foi feita de acordo com a norma NBR 10007. As análises foram feitas na massa bruta, extratos lixiviado e solubilizado.

Os resultados apontaram que o material disposto foi enquadrado como resíduo não inerte, conforme a norma NBR 10004/1987, devido às concentrações de alumínio, ferro e manganês obtidas no extrato solubilizado das amostras. Com relação ao benzo(a)pireno, foi usado o padrão estabelecido pela Agência Ambiental dos Estados Unidos - EPA ("Universal Treatment Standarts" – 40 CFR-Part 268), ou seja, 0,34 mg/kg.

A Tabela 3 apresenta os resultados em alguns pontos de amostragem, sendo os pontos P.5 e P.6 referentes à primeira campanha de amostragem, e o ponto P.2, à segunda campanha. Estes são comparados com as concentrações determinadas em solos da Bacia do Alto Tietê e com os valores orientadores publicados no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 26.10.2001 (MONITORAMENTO, 2003).

TABELA 3 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO MATERIAL DRAGADO NO RIO TIETÊ COM SOLO DA BACIA DO ALTO TIETÊ E COM OS VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Substância	RESULTADOS OBTIDOS NA AMOSTRA BRUTA (mg/kg)			Solos Bacia Alto Tietê	VALORES ORIENTADORES SOLOS (mg/kg)
	P.5	P.6	P.2		Intervenção (Residencial)
Cádmio	< 0,70	0,75	-	-	15
Chumbo	< 50,0	57,3	106,0	69,8	350
Cobre	32,6	141,0	-	-	500
Cromo	<30,0	88,5	82,0	56,7	700
Níquel	14,1	28,3	-	200	
Prata	-	-	-		50
Zinco	99,9	274,0	356,0	246,0	1000
Benzo (a) pireno	0,853	0,146	0,288	0,216	

FONTE: adaptado de Monitoramento (2003)

### 2.5.3 Dragagem do Canal do Fundão – Rio de Janeiro

Em maio de 2009, iniciaram-se as obras de recuperação ambiental do Canal do Fundão no Rio de Janeiro, com obras de desassoreamento e reurbanização do local, em uma extensão de 7 km e uma estimativa de dragagem de aproximadamente 2 milhões e 200 mil m<sup>3</sup> de material.

A Figura 3 apresenta o trecho do Canal antes do início das obras. O sedimento presente no Canal possuía uma camada de pelo menos quatro metros, a partir do nível da água (ESTADO, 2009).



FIGURA 3 - TRECHO DO CANAL DO FUNDÃO, NO RIO DE JANEIRO, ANTES DAS OBRAS DE DESASSOREAMENTO

Fonte: Agência Brasil (2008)



Os bolsões de desassoreamento foram instalados em aproximadamente 56.000 m<sup>2</sup>, divididos em duas áreas, com uma retirada estimada em 200 m<sup>3</sup> de material contaminado por mês. Em um dos bolsões, os resíduos retirados do canal já chegavam a 2 metros de altura (DRAGAGEM, 2010).

Foram realizados estudos detalhados do solo e análise dos sedimentos em 107 pontos da região, constatando-se a contaminação por mercúrio, chumbo, cádmio, antimônio e outros metais (ESTADO, 2009).

A destinação destes sedimentos contaminados foi feita da seguinte forma: após passar por um processo de separação de areia, os sedimentos restantes foram misturados com um polímero e bombeados em sacos de geotêxtil (“geobags”, conforme mostra a Figura 4) de 40 metros de comprimento e 2,4 metros de diâmetro, que ficavam estendidos em áreas impermeabilizadas com brita e argila. A finalidade do polímero era a de promover a aglomeração dos sedimentos, permitindo a eliminação da água presente através destes sacos. Uma das alternativas previstas de destinação foi utilizar estes sacos como base para construção de um platô, 7,2 metros acima do nível d’água, para fins de reurbanização da região. Os demais sedimentos não contaminados, depois da separação do lixo, foram encaminhados para alto-mar (ESTADO, 2009; AULER, 2010).



FIGURA 4 – DETALHE DO GEOTÊXTIL UTILIZADO NAS OBRAS DO CANAL DO FUNDÃO  
FONTE: Agência Brasil (2008)

## 2.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

### 2.6.1 *Considerações gerais*

De acordo com Bortone (2007), a gestão de sedimentos na Europa é um problema comum e está relacionada a questões históricas e contemporâneas e às diversas Diretivas da Comunidade Européia sobre água e solo. Os sedimentos estão na fronteira entre solos, resíduos e água, o que resulta em uma legislação incoerente e há necessidade de harmonização.

Na Alemanha, por exemplo, a legislação de proteção do solo apresenta disposições referentes à aplicação de materiais no solo, para fins de recultivo e recuperação de áreas (ALEMANHA, 1998; ALEMANHA, 1999). Já a norma técnica DIN 19731 (DIN, 1998) trata o material dragado como “material de solo”, ou seja, este material pode ser usado para:

1. melhoria de solo: promoção de uma efetiva melhoria de pelo menos uma das funções naturais do solo, tais como meio para sustentação da vida de plantas, animais e os homens, proteção de águas subterrâneas, local para a estabilidade de obras civis, produção de alimentos e outros;
2. recultivo: recomposição das funções naturais do solo, como por exemplo, uso do material como enchimento de aterros ou revitalização de ruas;
3. atividades de construção: construção de aterros, ruas, terraplanagem e paisagismo.

A legislação alemã sobre resíduos classifica o material dragado como um resíduo específico e possui, assim, critérios diferenciados quanto a sua disposição em aterros. As exigências para uso de resíduos como camadas de cobertura em aterros para fins de recultivo também são apresentados (ALEMANHA, 2009). O uso de material dragado como matéria-prima secundária para uso como fertilizante também é apontada como alternativa na Instrução para o manuseio de material dragado em águas interiores, conhecida como HABAB-WSV (“Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenland”) (BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, 2000).

No Brasil, os aspectos ambientais sobre gerenciamento de material dragado e sedimentos são contemplados, respectivamente, na Resolução SMA nº 039/04, do Estado de São Paulo, e na Resolução CONAMA nº 344/04. A primeira aborda

questões sobre disposição de material dragado no solo e, a última, em águas; ambas apresentam os respectivos padrões de qualidade.

É possível observar, que à exemplo do que ocorre na Alemanha, o material dragado e, da mesma forma, os sedimentos removidos, podem ser tratados ora como resíduo, solo ou ainda fertilizante, por exemplo. Assim, as legislações e normas brasileiras que abordam os aspectos referentes à qualidade de solo, lodo de esgoto, fertilizantes e resíduos também foram identificadas, para fins de comparação das concentrações obtidas nos sedimentos removidos, visando sua aplicação como resíduo, solo e fertilizante para fins agrícolas (lodo de esgoto). Deste modo, serão apresentadas a seguir algumas legislações e normativas pertinentes.

#### *2.6.2 Resolução CONAMA nº 344/04*

A Resolução nº 344 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, de 25 de março de 2004 (CONAMA, 2004), estabelece as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras.

As águas jurisdicionais se referem, às:

- águas interiores: compreende, entre outras, águas de portos, baías, rios, lagos e canais;
- águas marítimas.

A classificação deste material se dá por meio da avaliação química de substâncias presentes nos sedimentos. A Resolução prevê dois níveis de classificação:

- nível I: estabelece os limites abaixo dos quais se prevê que os efeitos adversos à biota são pouco prováveis, e
- nível II: estabelece os limites acima dos quais é previsto um provável efeito adverso à biota.

São apresentados ainda os valores orientadores das substâncias químicas que podem estar presentes nos sedimentos, ou seja, metais pesados, pesticidas organoclorados, bifenilas policloradas (PCB) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) para cada nível de classificação, de modo a orientar o gerenciamento da disposição final em águas. Os valores de alerta são apresentados para carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldahl total e fósforo total, os quais,

uma vez excedidos, representam uma possibilidade de causar prejuízos ao ambiente na área de disposição.

### 2.6.3 Resolução CONAMA nº 375/06

A Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006, define os critérios e procedimentos para uso agrícola de lodo de esgoto gerado em Estações de Tratamento de Esgotos sanitários e produtos derivados (CONAMA, 2006). Apesar desta legislação não ser aplicada especificamente para material dragado, ela apresenta critérios de qualidade de material a ser aplicado (lodo) e da área que receberá este material (solo). Assim, no contexto deste trabalho, este documento legal pode apresentar informações úteis que dariam uma primeira referência no tocante a um possível uso do sedimento para fins agrícolas.

De acordo com esta Resolução, o lodo precisa ser previamente caracterizado, através de análises químicas, de modo a atender aos seguintes requisitos de qualidade:

- presença de substâncias potencialmente tóxicas, tais como metais pesados e PAHs;
- potencial agrônômico, por meio da avaliação de COT e nitrogênio, por exemplo.

As concentrações máximas de substâncias inorgânicas (metais pesados) permitidas no lodo de esgoto são apresentadas no Quadro 4.

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO LODO DE ESGOTO (mg/kg, base seca)
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Níquel	420
Zinco	2800

QUADRO 4 – CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS NO LODO DE ESGOTO

Fonte: CONAMA (2006)

A Resolução apresenta também critérios para atendimento às cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo no solo, ou seja, a quantidade de substâncias introduzidas por área de aplicação, instrumento este que visa regular a quantidade de lodo aplicada. É também

importante ressaltar que, além da caracterização prévia de lodo e solo, os mesmos devem ter monitoramento frequente quanto ao atendimento dos padrões de qualidade estabelecidos.

Outro aspecto a ser considerado é o atendimento às especificações de qualidade para uso de fertilizantes, estabelecidos pelo Ministério da Agricultura. A Instrução Normativa SDA nº 025, de 23 de julho de 2009 (MAPA, 2009), apresenta os parâmetros para uso de fertilizantes orgânicos, obtidos a partir de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, o qual é classificado como classe D. Algumas das especificações são:

- carbono orgânico total: mínimo de 15%
- nitrogênio total: mínimo de 0,5%
- relação carbono/nitrogênio: máximo de 20.

#### *2.6.4 Resolução CONAMA nº 420/09*

A Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, estabelece os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, bem como ainda trata sobre procedimentos de gerenciamento de áreas contaminadas (CONAMA, 2009).

Segundo esta Resolução, as funções principais do solo são:

- I - servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos;
- II - manter o ciclo da água e dos nutrientes;
- III - servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo;
- IV - agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos;
- V - proteger as águas superficiais e subterrâneas;
- VI - servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural;
- VII - constituir fonte de recursos minerais; e
- VIII - servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos (CONAMA, 2009).

As concentrações de substâncias químicas indicadoras da qualidade e alterações do solo, denominadas valores orientadores, são:

- Valor de Referência de Qualidade - VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, baseada em interpretação estatística de análises químicas de amostras de diversos tipos de solos;

- Valor de Prevenção - VP: é a concentração de valor limite de determinada substância abaixo da qual o solo é capaz de sustentar as suas funções principais;

- Valor de Investigação - VI: é a concentração acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Nesta Resolução, o critério de disposição de resíduos no solo refere-se tão somente ao atendimento dos valores de prevenção na área em questão, não sendo apresentados padrões de qualidade para tais resíduos. Se for observada ainda a Decisão da CETESB (2005) sobre os valores orientadores para solo no Estado de São Paulo, um solo que apresente concentrações superiores a estes valores deverá ter a continuidade da disposição do material reavaliada, devendo ocorrer o monitoramento dos impactos decorrentes desta disposição por parte dos responsáveis legais.

Por outro lado, se as concentrações de substâncias do resíduo ou, no caso, o material dragado, já se encontrarem abaixo dos VPs estabelecidos, a probabilidade dessa disposição causar impactos adversos ao meio ambiente é reduzida, de acordo com os critérios desta Resolução.

#### *2.6.5 Resolução SMA nº 039/04*

A Resolução SMA nº 039, de 21 de julho de 2004, da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, estabelece as diretrizes gerais para caracterização de material dragado a ser disposto no solo (SÃO PAULO, 2004).

A amostragem do material deverá ser simples e pontual, sendo que os pontos de amostragem deverão estar localizados a uma distância longitudinal máxima de 500 m entre si nos trechos de rio a serem dragados, independentemente do volume de material a ser gerado.

Os critérios mínimos para disposição no solo devem atender aos seguintes valores orientadores:

- valor de referência de qualidade: concentração, abaixo da qual o solo é considerado limpo, ou seja, reflete a situação em que a substância pode ser encontrada naturalmente no solo;

- valor de alerta (VA): concentração que indica uma possível alteração da qualidade natural do solo;

- valor de intervenção residencial (VI): concentração acima da qual existem riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente, considerando-se um cenário de exposição residencial genérico.

Os critérios para disposição, em função dos resultados obtidos da análise, seguem o fluxo apresentado na Figura 5.

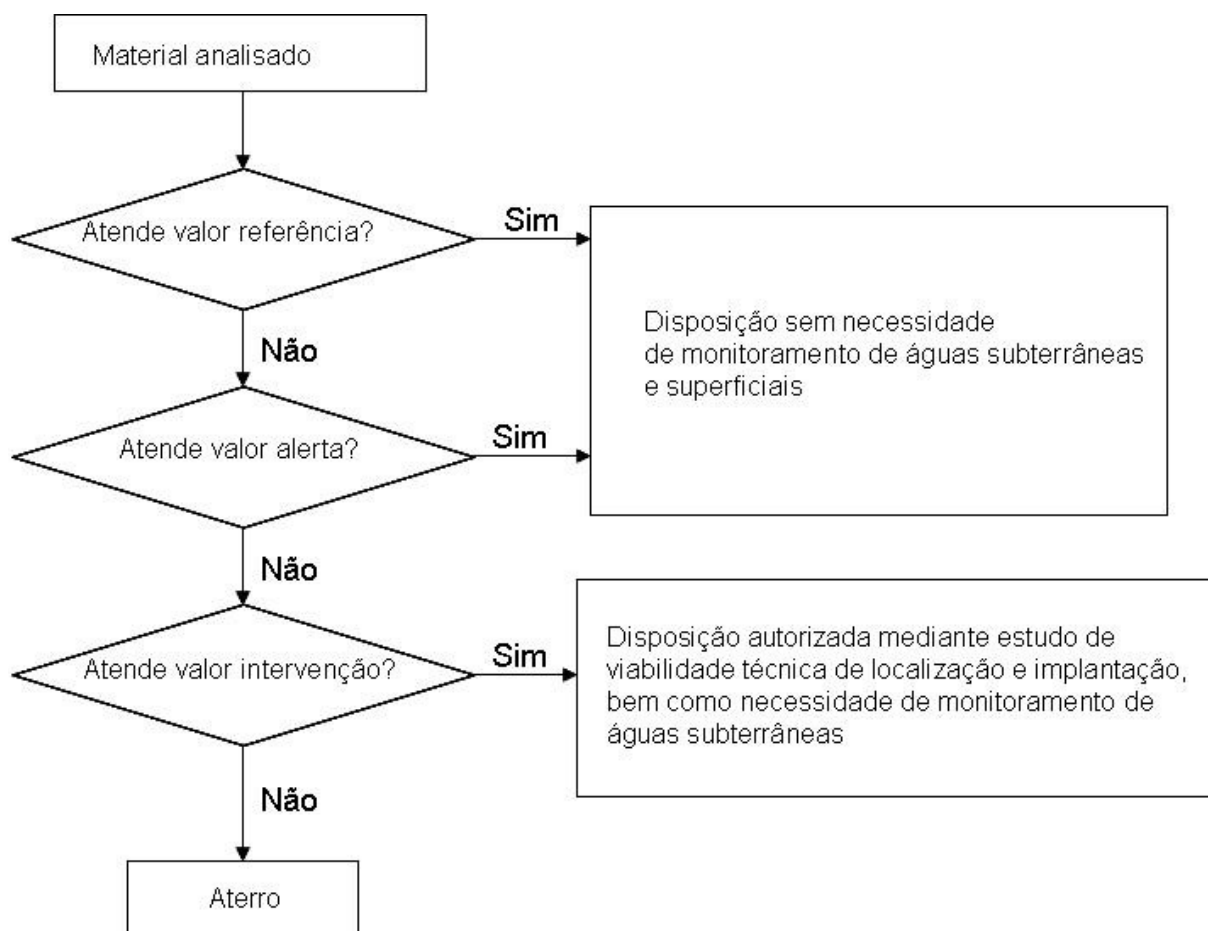


FIGURA 5 – FLUXO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO EM SOLO, DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO SMA nº 39/04

FONTE: adaptado de São Paulo (2004)

São previstas ainda outras exigências, tais como:

- atendimento às restrições quanto ao uso e ocupação do solo da área selecionada, de acordo com a legislação específica, sendo proibida a disposição

final em unidades de conservação, em zonas de transporte de água mineral, áreas de preservação permanente, balneários e estâncias de águas minerais;

- prévia avaliação da área de disposição quanto à qualidade de solo e água subterrânea.

#### *2.6.6 Decreto Municipal nº 1190/04 (Curitiba)*

No Município de Curitiba, os parâmetros de referência para qualidade de solo e água subterrânea são estabelecidos através do Decreto Municipal nº 1190, de 14 de dezembro de 2004 (CURITIBA, 2004).

Estes parâmetros estão relacionados com os usos definidos pela legislação de uso e ocupação do solo, determinados pela Lei Municipal nº 9800/2004. Para fins de aplicação do Decreto, os usos definidos foram agrupados em três categorias:

- uso residencial e Área de Proteção Ambiental – APA;
- uso comercial e de serviços;
- uso industrial.

Assim, o uso residencial e de APA, por serem mais restritivos, também apresentam valores de qualidade mais rigorosos.

#### *2.6.7 Norma Técnica NBR 10004*

Esta Norma Técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT estabelece os critérios para classificação de resíduos sólidos, de forma a dar subsídios para o seu adequado gerenciamento.

Os resíduos sólidos são definidos como

Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a).

A classificação de resíduos deve ser feita com base na identificação do processo ou atividade que os originou e de seus constituintes e características, as quais devem ser comparadas em listagens de resíduos e substâncias, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente são conhecidos.

Para fins de aplicação desta Norma, os resíduos são classificados em:



(a) Resíduos Classe I – Perigosos

Apresentam características de periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, que constem nas listagens de Resíduos Perigosos desta Norma ou ainda que contenham substâncias que lhes conferem periculosidade.

(b) Resíduos Classe II – Não perigosos

(b.1) Classe II A – Não inertes

Não são classificados como perigosos ou inertes; esses resíduos podem apresentar propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

(b.2) Classe II B – Inertes

São os resíduos que, se amostrados de forma representativa e submetidos a extração com água (solubilização), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, à exceção de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

O procedimento de classificação segue a ordem descrita a seguir.

1. Deve-se verificar se um ou mais constituintes do resíduo estão listados nos Anexos A e B dessa Norma ou então se apresentam uma ou mais das propriedades que o classificam como perigoso, de acordo com os Anexos C, D e E;

2. Na sequência, caso o resíduo não tenha classificado como perigoso, deve-se avaliar sua toxicidade por meio de ensaio de extrato lixiviado e comparação com o Anexo F dessa Norma; se a concentração de pelo menos um dos constituintes exceder o valor, o resíduo já é classificado como perigoso;

3. No caso das concentrações acima encontrarem-se abaixo dos limites do Anexo F, procede-se então o ensaio de solubilização do resíduo e comparação das concentrações analisadas com o Anexo G; se a concentração de pelo menos um dos constituintes exceder o valor, o resíduo já é classificado como perigoso.

O procedimento descrito pode ser visualizado na Figura 6.

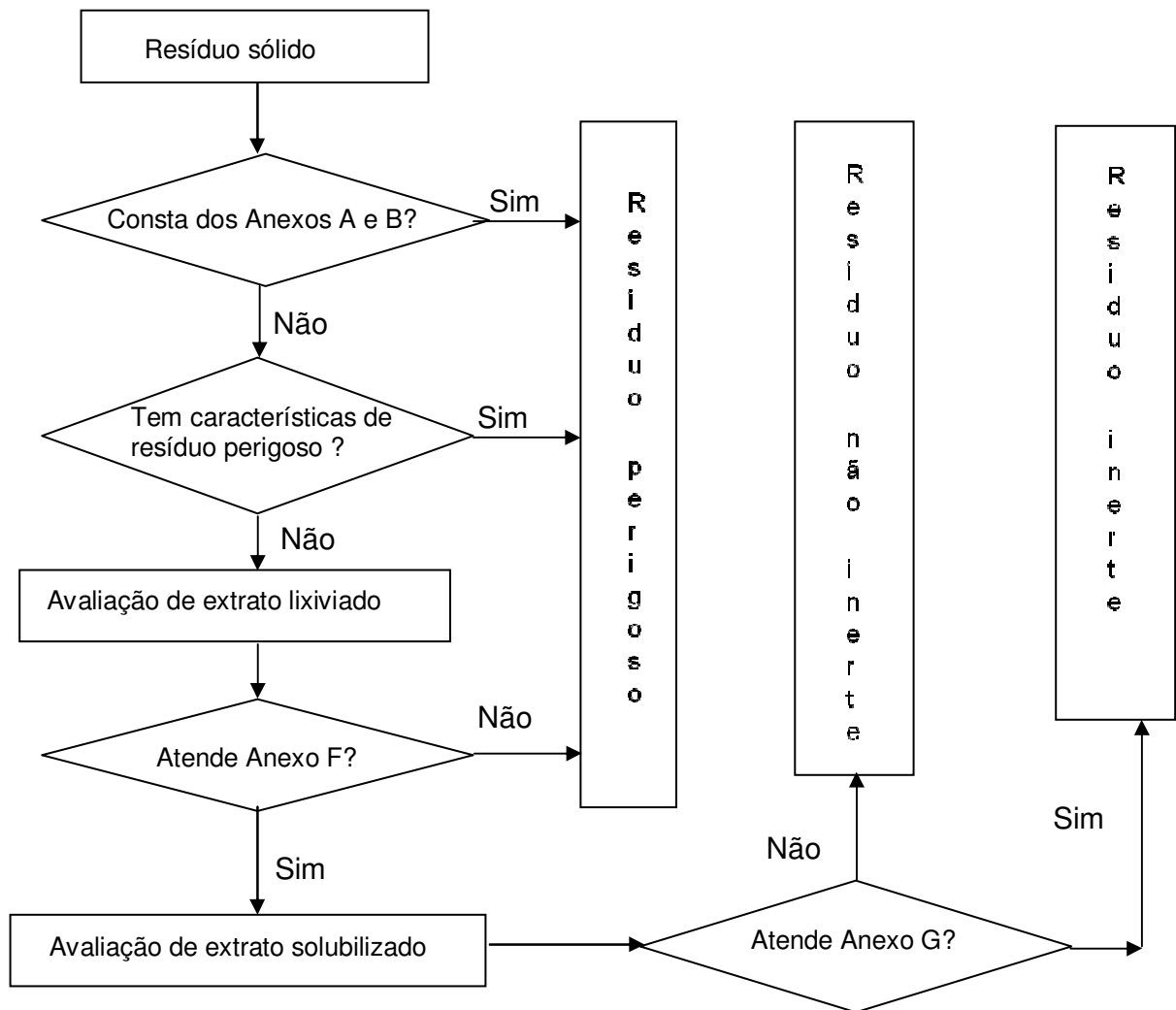


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

FONTE: Adaptado de ABNT (2004a)

### 3 ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa foi desenvolvida adotando o rio Belém, Município de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil, como estudo de caso referente à avaliação química dos sedimentos removidos. Os sedimentos foram resultantes da obra de desassoreamento e de limpeza, a qual foi realizada de janeiro a maio de 2010. A operação envolveu o trecho compreendido entre a Linha Verde (BR-476) e o Rio Iguaçu, correspondendo à região que será denominada de “Baixo Belém”, conforme mostra a Figura 7.

Neste capítulo são apresentadas as características da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, correspondente ao “Baixo Belém”, com relação aos aspectos:

- físicos: localização, hidrografia, geologia, geoquímica e áreas verdes;
- econômicos: demografia, uso e ocupação do solo, atividades econômicas.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM

##### 3.1.1 Considerações gerais

Esta bacia localiza-se no Município de Curitiba, Estado do Paraná. Ela é uma sub-bacia da porção central da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu. Seu talvegue principal se desenvolve no sentido Norte-Sudeste do município de Curitiba (FORTUNATO, 2006).

Trata-se de uma bacia totalmente urbanizada, na qual se encontram 35 bairros parcial ou inteiramente incluídos do Município de Curitiba, como pode ser visualizado na Figura 7 (FORTUNATO, 2006).

A bacia hidrográfica do Rio Belém, por ser uma bacia urbana, sofre muitos desequilíbrios ambientais, consequência de uma infra-estrutura de esgotamento sanitário precária, ocupações irregulares nas margens, baixo percentual de áreas verdes em comparação com as demais sub-bacias de Curitiba e Região Metropolitana, presença de lixo, de desmatamento, alteração da forma original do rio – retificação do canal, confinamento do seu leito e impermeabilização do solo devido ao processo de urbanização, entre outros (FORTUNATO, 2006; SMMA, 2007).

Além disso, ela constitui-se como uma das áreas mais críticas com relação à ocorrência de inundações. Segundo levantamento da SUDERHSA (2002) existem 15 áreas críticas de inundação ao longo desta bacia, que atingem uma população

estimada de 28.000 pessoas, sendo considerado um dos cenários mais críticos de toda a bacia do Alto-Iguaçu.



FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BELÉM E DOS BAIRROS NELA INSERIDOS  
FONTE: FORTUNATO (2006)

### 3.1.2 Hidrografia

A bacia hidrográfica do Rio Belém tem cerca de 64 km de trechos de rios e ocupa uma área de 88 km<sup>2</sup>, o que equivale a aproximadamente 20,32% da área total da cidade que é de 432 km<sup>2</sup> (SMMA, 2007; FORTUNATO, 2006). Seu principal rio é o Belém, sendo este um dos tributários da margem direita do Rio Iguaçu.

O Rio Belém é um rio genuinamente curitibano com extensão de 17,13 km. A sua nascente principal, no Bairro da Cachoeira, situa-se em uma área pública, onde se encontra o Parque “Nascentes do Belém”. No seu percurso, passa pelo Parque São Lourenço, área de drenagem superficial, depois pelo Bosque do Papa e começa a ser canalizado no Bairro Centro Cívico. No ponto em que ele reaparece, ao lado da Rodoferroviária, pode-se observar a foz de dois afluentes importantes

que estão canalizados, o Rio Ivo e o Rio Juvevê. O rio Belém desemboca no Rio Iguaçu no bairro do Boqueirão, atrás da estação de Tratamento de Esgoto da SANEPAR (SMMA, 2007).

O Rio Belém possui 46 afluentes, sendo que os principais são: o Rio Bigorrilho, que passa na Rua Fernando Moreira, o Rio Ivo, o Rio Água Verde, o Rio Juvevê, o Rio Vila Guará e o Rio Areiãozinho (SMMA, 2007).

A avaliação da qualidade da água dos rios de Curitiba, também do Rio Belém, é realizada pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP por meio de análises laboratoriais. O método AIQA – Avaliação Integrada da Qualidade da Água – é utilizado e considera as três dimensões analíticas da qualidade: químicas, bacteriológicas e ecotoxicológicas. Os resultados nas diferentes dimensões são relacionados entre si pelo Método Multiobjetivo de Programação de Compromisso, que se baseia numa condição ideal de qualidade de água, ou seja, na Classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/05, conforme Quadro 5 (IAP, 2009).

CLASSE DE QUALIDADE	COMPATIBILIDADE CLASSES CONAMA	AIQA
Muito boa	Classe 1	0,00 a 0,20
Boa	Classe 2	>0,20 a 0,40
Pouco poluída	Classe 3	>0,40 a 0,60
Medianamente poluída	Classe 3	>0,60 a 0,80
Poluída	Classe 4	>0,80 a 1,00
Muito poluída	Fora de classe	>1,00 a 1,20
Extremamente poluída	Fora de classe	>1,20

QUADRO 5 – CLASSES DE QUALIDADE DE ÁGUA CONFORME AIQA

FONTE: IAP (2009)

Existem três estações de monitoramento no Rio Belém, sendo que uma delas, de amostragem de água, está localizada na área de estudo: AI-15, situada na rua Rodolfo Bernardelli (IAP, 2009). A Portaria SUREHMA 20/92 (PARANÁ, 1992) estabeleceu esse trecho do Rio Belém como Classe 3, o que demonstra a importância de estudo futuro. Os resultados das análises realizadas pelo IAP para o período de 2005 a 2009, para esta estação, classificaram as águas como extremamente poluídas (AIQA de 1,22); ou seja, a qualidade da água é pior do que Classe 4. Segundo o IAP (2009),

“ao longo dos anos, o rio (Belém) tem apresentado condições de poluição notáveis, com classificação variando de “poluída” a “extremamente poluída” devido às precárias condições de saneamento, cujos efluentes não tratados

lançados no rio geram baixos teores de oxigênio dissolvido (OD) e níveis altos de DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e *Escherichia coli*, além da ocorrência frequente de efeito tóxico agudo para *Daphnia magna* [...] que compromete a sobrevivência da vida aquática.”

Além dos problemas de qualidade da água, existe ainda a questão das obras para controle de inundações. De acordo com Fortunato (2006), foram realizadas diversas intervenções nos canais e margens, com o intuito de conter as cheias naturais do Rio Belém e seus afluentes e viabilizar a ocupação de áreas próximas a estes rios. Entre elas, destaca-se a retificação do rio na região do Baixo Belém e canalização no trecho do Passeio Público, que ocorreu em meados dos anos 1930. Tais intervenções alteraram sensivelmente as características naturais do rio, embora tenham possibilitado o processo de urbanização de Curitiba (FORTUNATO, 2006).

Existem também setores da bacia em que ainda pode ser observado o leito natural de rios e córregos, principalmente nos fundos de vale. Contudo, esses cursos d'água sofreram outras interferências da urbanização; tais como, a ocupação de suas margens por sub-habitações, sendo comum encontrar tubulações de esgoto sanitário direcionadas aos rios e córregos; além de resíduos sólidos (FORTUNATO, 2006).

Ainda assim, vários episódios de inundações ocorreram nas imediações do rio, em função da ocorrência de grandes precipitações, o que causou vários estragos no Município, conforme apresentado na Figura 8.



FIGURA 8 – ALAGAMENTO NA RUA SALVADOR DE FERRANTE, BAIRRO BOQUEIRÃO, PRÓXIMO AO RIO BELÉM, EM 09/09/2009

FONTE: KOTSAN (2009)

### 3.1.3 Áreas verdes

As áreas verdes são fundamentais para o sistema de drenagem da bacia hidrográfica, permitindo a infiltração de águas de chuva no subsolo, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, os impactos ambientais relacionados.

A bacia hidrográfica do Rio Belém é a mais urbanizada do município de Curitiba, em consequência do intenso desenvolvimento urbano. Ela apresenta a menor cobertura por áreas verdes. Na área de estudo, apenas 3,6%, aproximadamente 1,2 km<sup>2</sup>, é ocupada por áreas verdes (SMMA, 2011a)<sup>8</sup>, quando a média do Município é de 18 % (IPPUC, 2008).

### 3.1.4 Geologia

Segundo SMMA (2007), o Município de Curitiba encontra-se assentado sob rochas do Complexo Cristalino, da Formação Capiru do Grupo Açungui, de sedimentos da Formação Guabirota e sedimentos inconsolidados aluvionares.

Na área de estudo, é possível identificar a Formação Guabirota e os Sedimentos inconsolidados, conforme apresentado na Figura 9.

A Formação Guabirota tem como característica principal a baixa permeabilidade e é constituída por argilitos, arcósios, margas, arenitos e conglomerados e, do ponto de vista geotécnico, é suscetível a processos erosivos (SMMA, 2007). Na área de estudo, a Formação Guabirota é o tipo geológico de maior predominância, ocupando aproximadamente 55% da área (SMMA, 2011b)<sup>9</sup>.

Os Sedimentos Inconsolidados Aluvionares ou aluviões, bastante significativos na porção sul do município de Curitiba, ocorrem junto às drenagens superficiais que compõe a Bacia do Alto Iguaçu, ocupando 45% da área da área de estudo. Essa unidade geológica compreende os depósitos fluviais, sendo significativa nas áreas de entorno aos rios e córregos e são compostos de areias, siltes, argilas e matéria orgânica – turfa (SMMA, 2007).

Ambas formações geológicas são constituídas por materiais com capacidade para adsorver poluentes, tais como argilas, siltes e matéria orgânica. Isto é relevante para avaliação do potencial de contaminação em sedimentos (CASTIGLIA, 2006).

---

<sup>8</sup> Rodrigues, E. M. D. Informação oral reportada pelo resultado obtido por meio de confrontação das áreas de estudo e verdes cadastradas no SMMA usando o Programa ArcView GIS, versão 3.2a, 2011a.

<sup>9</sup> Rodrigues, E. M. D. Informação oral reportada pelo resultado obtido por meio de confrontação das áreas de estudo e formações geológicas cadastradas no SMMA usando o Programa ArcView GIS, versão 3.2a, 2011b.



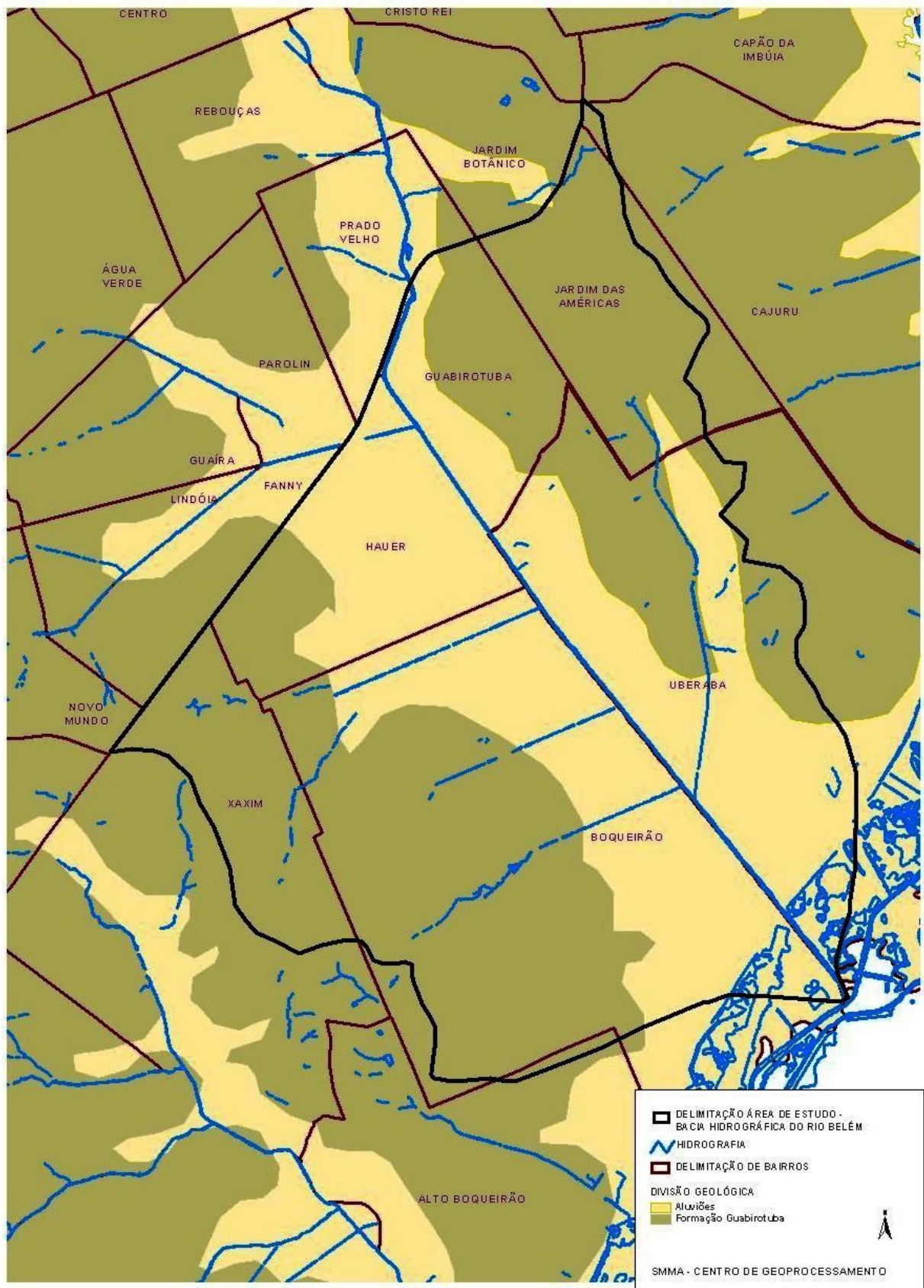


FIGURA 9 - FORMAÇÕES GEOLÓGICAS NA ÁREA DE ESTUDO – BAIXO BELÉM

FONTE: SMMA (2011b)



### 3.1.5 Geoquímica

Segundo a Mineropar (2001), a composição de uma amostra de sedimento de fundo de um canal de drenagem pode ser constituída tanto por minerais como por fragmentos de rocha, bem como material fino constituído por argilo-minerais e óxidos hidratados de ferro e manganês, todos resultantes do processo de intemperismo. Além disso, detritos produzidos pela atividade biológica, bem como produtos e resíduos líquidos ou sólidos provenientes da atividade humana também contribuem para esta composição. Assim, a análise química de uma amostra de sedimento reflete a soma das características químicas dos materiais que ocorrem na bacia hidrográfica. Deste modo, o teor total do metal analisado representa tanto a estrutura do mineral natural, reflexo do ambiente natural, como do metal participante da composição de um efluente industrial ou ainda de dejetos urbanos, reflexo da ação do homem. Em muitas situações, pode ocorrer a superposição destes dois agentes.

Com base na leitura dos mapas geoquímicos do Atlas elaborado pela Mineropar (2001), cuja amostragem de sedimentos de fundo coletados no eixo das drenagens foi realizada em 1995, é possível identificar em que faixas de concentração os elementos químicos, em específico os metais pesados, estão presentes nas formações geológicas que atingem a bacia hidrográfica do Rio Belém. Essas faixas estão relacionadas na Tabela 4.

TABELA 4 – CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME FORMAÇÃO GEOLÓGICA, NA BACIA DO RIO BELÉM

Elemento	FORMAÇÃO GUABIROTUBA E SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS	
	Concentração mínima (mg/kg)	Concentração máxima (mg/kg)
Chumbo	26,81	114,50
Cobre	6,24	31,92
Cromo	5,65	19,76
Níquel	4,41	11,25
Zinco	58,98	156,64
Cádmio	< limite de detecção do método analítico	
prata	< limite de detecção do método analítico	

FONTE: adaptado de MINEROPAR (2001)

### 3.1.6 Evolução do uso e Ocupação do solo

O crescimento urbano nas várzeas dos rios Belém e Iguaçu ocorreu entre as décadas de 1950 e 1970. A partir de 1970, os bairros periféricos cresceram

rapidamente, pois o custo da terra tinha um valor reduzido em comparação aos bairros centrais. A ocupação na bacia do Rio Belém, em determinados trechos, foi então caracterizada por processos de urbanização, nos quais houve canalizações de córregos e rios, aliadas ao desvio de seus cursos para o lado ou abaixo das ruas e avenidas (FORTUNATO, 2006). Além disso, o desenvolvimento urbano foi impulsionado após a consolidação de importantes eixos de circulação, como a abertura da BR-116 (atual BR-476) e prolongamento da Av. Marechal Floriano Peixoto; o que ocorreu entre os anos de 1950 e 1970. Em 1985 houve, em Curitiba e Região Metropolitana, um grande fluxo migratório proveniente de áreas rurais do Estado do Paraná, desencadeado por modificações sócio-econômicas (LIMA, 2004), havendo avanço da população sobre várzeas e planícies de inundação na porção sul da bacia, muitas vezes com sub-habitações, as quais eram instaladas nas margens dos rios e córregos.

De acordo com a SMMA (2007), os dados demográficos da bacia mostraram a existência de 184.363 domicílios, que correspondem a 539.622 habitantes. Os assentamentos espontâneos possuem 4.623 domicílios, os loteamentos clandestinos, 581 e, os assentamentos do Programa PROLOCAR, 149. Ainda, as ocupações irregulares e os assentamentos do programa PROLOCAR<sup>10</sup> totalizam 53 ocupações, das quais 29 encontram-se em Área de Preservação Permanente, representando 55% do total (SMMA, 2007).

Na bacia do Rio Belém, praticamente 100% dos domicílios são atendidos por rede de água. Conforme informação fornecida pela SANEPAR, o atendimento por rede de esgoto é de aproximadamente 90% (SMMA, 2007).

### *3.1.7 Atividades econômicas*

De maneira geral, existem diversos tipos de estabelecimentos industriais, comerciais e prestadores de serviços instalados na bacia do Rio Belém. Alguns de porte pequeno, outros médio, e, até mesmo, grande. Estes estabelecimentos lançam efluentes líquidos contendo poluentes conforme as atividades que desenvolvem. Pode ser destacada a possibilidade da presença de metais pesados e moléculas de derivados de petróleo nesses efluentes. Assim, estes poluentes podem atingir o rio e serem adsorvidos nos sedimentos presentes no rio.

---

<sup>10</sup> Programa instituído pela Prefeitura de Curitiba na década de 80, com o objetivo de selecionar áreas e implantação de lotes para reassentamento de famílias em áreas de invasão, sendo parte destes lotes implantados em áreas de preservação permanente. Fonte: COHAB-CT, 2007

### *3.1.8 Possibilidade da ação antrópica negativa sobre o Rio Belém*

Com base nas informações apresentadas, os parâmetros químicos avaliados neste estudo foram selecionados de acordo com a possibilidade técnica disponível e de acordo com o histórico de desenvolvimento urbano e industrial da região. A presença destes contaminantes foi estabelecida de acordo com a possível ação antrópica. Por exemplo, uso de automóveis e desenvolvimento de atividades de serviços e industriais; como gráficas e galvanicas, respectivamente.

Assim, a presença de alguns metais pesados (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Ag e Zn) e compostos orgânicos tóxicos (PAH) foi investigada para confirmar a possibilidade da ocorrência de processos de interação entre os contaminantes gerados pela ação humana e o sedimento da região do “Baixo Belém”. Ainda, os valores para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio estão relacionados à contaminação por meio de lançamento indevido de esgoto e também foram avaliados. Estes dois parâmetros são igualmente importantes para designação de uso futuro; o que é atribuído aos seus efeitos biológicos no desenvolvimento de plantas e outros organismos do solo. Assim, os valores observados foram comparados aos padrões legais e normativos para avaliação destas substâncias. Assim, os padrões referenciais para solo, sedimento, resíduo, lodo de esgoto e material dragado, bem como extrato lixiviado foram comparados com os valores observados nas análises. Com base nestes aspectos, uma proposta inicial para uso destes sedimentos será apresentada a seguir.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 ATIVIDADES ECONÔMICAS DO BAIXO BELÉM**

Os estabelecimentos comerciais, industriais e prestadores de serviços que potencialmente podem lançar efluentes poluentes no rio Belém, em decorrência de suas atividades, foram identificados.

Isso foi feito por meio do levantamento da quantidade total de estabelecimentos, instalados nos bairros integrantes da área de estudo do “Baixo Belém”, e que obtiveram Alvará de Funcionamento em 2010, liberado pela Prefeitura Municipal de Curitiba. Foram utilizados os dados constantes da publicação “Curitiba em Dados”, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC (IPPUC, 2010a, b, c, d, e, f), para os bairros situados junto à margem esquerda (Guabirotuba, Jardim das Américas e Uberaba) e direita (Hauer, Xaxim e Boqueirão) do Rio Belém.

Os ramos de atividades observados foram agrupados em:

- indústrias: fabricação de máquinas e equipamentos, produtos químicos, farmoquímicos e medicamentos, produtos de limpeza e polimento, cosméticos perfumaria e higiene pessoal e matérias-primas para indústrias, tais como impermeabilizantes, e tintas e adesivos;
- gráficas: serviços de pré-impressão e impressão de produtos gráficos;
- usinagem e tratamento de metais: serviços de tornearia de peças e galvanicas;
- serviços automotivos: serviços de mecânica e lavagem de veículos, recondicionamento de motores e de baterias automotivas;
- postos: serviços de abastecimento de veículos.

### **4.2 OBRAS DE DESASSOREAMENTO**

Não foi obtida informação sobre técnicas específicas para desassoreamento. Assim, o procedimento adotado foi o empregado comumente na realização desse tipo de obra em Curitiba, Paraná, de responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras Públicas.

O material foi recolhido com uso de escavadeiras hidráulicas e consistia tanto de material das ilhas de sedimento, como de sedimento de fundo e parte do solo adjacente. A utilização dessas máquinas impossibilita a retirada de apenas ilhas

de sedimentos; no entanto, este estudo tem valor técnico, devido a sua ordem prática. Assim, foi avaliado o teor de contaminante no material removido e que necessitava de disposição em aterro, solo ou utilizado para outras finalidades.

As camadas de sedimentos retiradas pela escavadeira foram espalhadas pelas margens do rio e formaram os locais de amostragem (pontos de coleta: 1, 2, 3, 4, 5 e 6, apresentados na Figura 10).

### 4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

#### 4.3.1 Amostragem

A Norma Técnica ABNT NBR 10007 (2004c) foi utilizada para amostragem de resíduos sólidos, por não existir normativa específica para material dragado. Este procedimento é compatível com a forma de disposição do sedimento removido dos locais de desassoreamento, em pilhas e montes, bem como sua natureza heterogênea, constituído de partículas grosseiras e finas de areias e solos, o que pode ser observado na Figura 18. Este procedimento também foi utilizado para amostragem de material dragado do rio Tietê (LIMA, 2008).

Os locais de coleta em que ocorreram as amostragens, bem como os respectivos pontos de referência das ruas próximas ao local de disposição do material, as respectivas áreas aproximadas de amostragem e coordenadas UTM - “Universal Transversor Mercator” são apresentados no Quadro 6.

LOCAIS DE COLETA	PONTOS DE REFERÊNCIA	DATAS DAS COLETAS	ÁREAS DE SEDIMENTOS AMOSTRADOS (m <sup>2</sup> )	COORDENADAS UTM DOS LOCAIS DE COLETA
1	R. João Kosera	30/03/10	540	677854 E – 7179679 N
2	R. Salvador Ferrante	30/03/10	870	678224 E – 7179221 N
3	R. Bárbara Cid	26/02/10	735	678464 E – 7178935 N
4	montante da R. Bley Zorning	30/09/10	1140	679375 E – 7177782 N
5	jusante da r. Bley Zorning (Parque Náutico)	01/10/10	1400	679553 E – 7177565 N
6	Rio Iguaçu	26/02/10	1200	680098 E – 7176823 N

QUADRO 6 - RELAÇÃO DOS LOCAIS, DATAS E ÁREAS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS REMOVIDOS, PONTOS DE REFERÊNCIA E COORDENADAS UTM

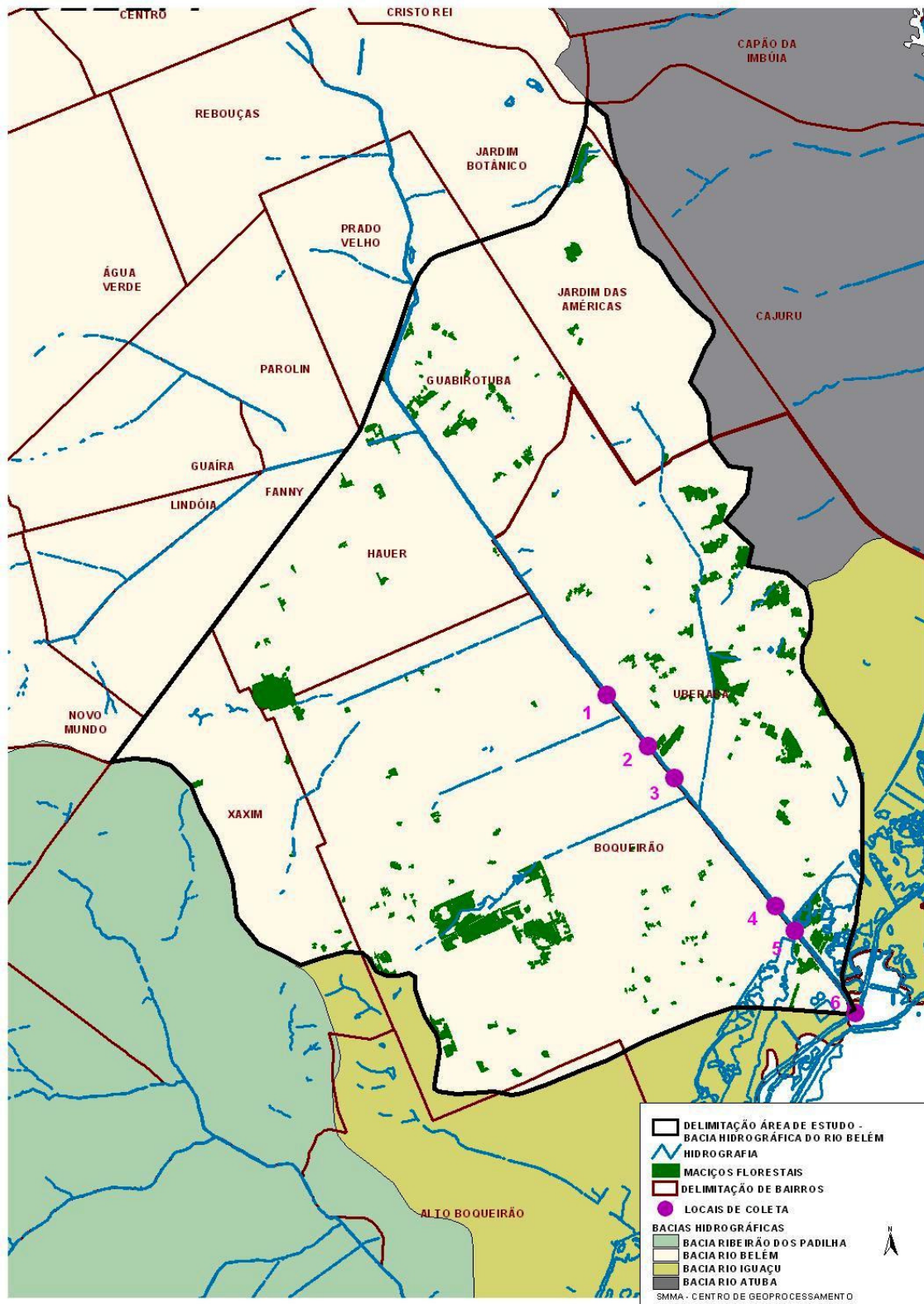


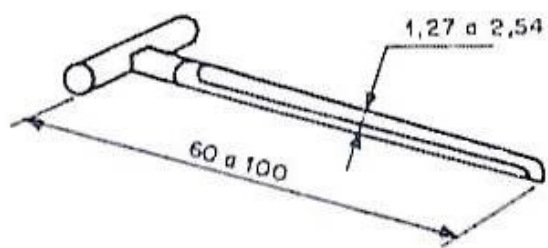
FIGURA 10 – LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTO REMOVIDO DO RIO BELÉM

Fonte: SMMA (2011c)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Rodrigues, E. M. D. Mapa gerado por meio de sobreposição dos mapas das bacias hidrográficas, áreas verdes, bairros e hidrografia da área de estudo, cadastradas no SMMA, bem como localização dos pontos de coleta no rio Belém, usando o Programa ArcView GIS, versão 3.2a, 2011c.

Os sedimentos foram coletados por pessoal especializado (técnicos do Laboratório do SENAI-CETSAM, em Curitiba), com uso de pás, com exceção dos pontos 1 e 2, onde foi utilizado amostrador “trier”, conforme apresentado nas Figuras 11 e 12. Foi retirada uma quantidade aproximada de 60 a 70 tomadas (sub-amostras) em cada área de exposição dos sedimentos, em profundidades de aproximadamente 5 a 15 cm. Essas amostras foram coletadas e misturadas em recipiente até seu preenchimento completo, quando então foi procedido o quarteamento<sup>12</sup>, conforme Figura 13.

O procedimento de coleta de sub-amostras individuais foi repetido com uso de outro recipiente. No final, as amostras remanescentes dos dois recipientes foram novamente misturadas em uma única bacia. Após novo quarteamento, o material não descartado (Amostra) foi acondicionado em frascos de vidro, para análise de PAHs, e saco plástico, para as demais análises, em um total de, aproximadamente, 600 g de amostra composta para cada local de coleta.



(a)



(b)

FIGURA 11 – USO DE AMOSTRADOR “TRIER” PARA COLETA DE MATERIAL DRAGADO

FONTE: (a) ABNT (2004c)

(b) A autora (2010)

<sup>12</sup> Processo de divisão de uma amostra pré-homogeneizada em quatro partes iguais, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes; as partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume de amostra desejado (ABNT, 2004c).





(a)



(b)

FIGURA 12 – USO DE PÁS PARA COLETA DE MATERIAL DRAGADO



(a)



(b)



(c)



(d)

Etapas do quarteamento: (a) amostra pré-homogeneizada; (b) divisão da amostra em 4 partes; (c) descarte de 2 partes opostas; (d) amostra final

FIGURA 13 – ETAPAS DO QUARTEAMENTO PARA COLETA DOS SEDIMENTOS



#### 4.3.2 Parâmetros Químicos em Relação à Matriz

As substâncias químicas de interesse foram escolhidas, com base nos seguintes critérios:

- potencial destas substâncias estarem adsorvidas nos sedimentos;
- relação com a ação antrópica;
- existência de padrões legais e normativos para comparação das concentrações obtidas;
- viabilidade técnica dos laboratórios do curso do Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial para a realização das análises.

Desta forma, foram avaliados os seguintes parâmetros:

(a) na amostra bruta:

- metais pesados: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), prata (Ag), zinco (Zn);
- hidrocarbonetos aromáticos polinucleados (PAH): acenafteno, antraceno, benzo(a)pireno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoranteno, fenantreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, pireno, acenafetileno, benzo(b)fluoranteno, fluoreno;
- carbono orgânico total (COT);
- nitrogênio total;

(b) no extrato lixiviado:

- metais pesados: cádmio, chumbo, cromo, prata, conforme a Norma NBR 10004 (ABNT, 2004a).

#### 4.3.3 Determinação de Parâmetros da Amostra em Laboratório

As amostras de sedimentos foram analisadas no laboratório do SENAI-CETSAM, seguindo procedimentos analíticos padronizados para extração e determinação da concentração dos parâmetros de interesse e que são descritos a seguir.

*A amostra bruta foi obtida por:*

a) Extração de metais pesados:

Foi utilizado o Método EPA 3050B (USEPA, 1996).

Em um béquer, foi pesado aproximadamente 1 g de amostra seca e adicionado 10 mL de ácido nítrico 1:1 (v/v). Este frasco foi coberto com vidro de relógio e aquecido a uma temperatura de  $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 10 a 15 minutos. Após

resfriamento, foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado e o conjunto foi novamente aquecido por 30 minutos. Foram adicionadas outras alíquotas de 5 mL de ácido nítrico até eliminação dos fumos marrons formados. Após novo aquecimento, sem ebulição, o volume da solução foi reduzido a aproximadamente 5 mL.

Após resfriamento da amostra, 2 mL de água deionizada e 3 mL de peróxido de hidrogênio 30% foram adicionados ao frasco, que foi coberto e colocado em chapa para aquecimento até diminuição da efervescência. O conjunto foi retirado da chapa e novas alíquotas de 1 mL de solução de peróxido foram acrescentadas até efervescência mínima. Mantendo a amostra coberta e sob aquecimento, o volume foi reduzido para aproximadamente 5 mL, sem ebulição. A este volume foram acrescentados 10 mL de ácido clorídrico concentrado que, após fechamento do frasco com vidro de relógio, foi novamente aquecido em chapa a  $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos.

O extrato obtido foi filtrado, colocado em balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água deionizada.

b) Extração de PAHs:

Foi seguido o Método ISO 18287 (ISO, 2006).

Uma quantidade de 10 g de amostra foi pesada em cápsula de porcelana. Foi adicionado sulfato de sódio anidro suficiente para eliminação da umidade. Esta mistura foi colocada em papel filtro, na forma de um cartucho, que foi colocado em extrator Soxhlet. A seguir, foram adicionados à amostra 50 µL de uma solução de 10 µg/mL de padrão interno de PAH deuterados. Em um balão de fundo chato foram colocados 150 mL de diclorometano. O balão foi colocado no equipamento extrator e este sistema foi levado para aquecimento em refluxo por 4 horas. O extrato foi então concentrado em evaporador rotativo, a  $50^{\circ}\text{C}$ , até atingir um volume de, aproximadamente, 1 mL. Um volume de 1 mL deste extrato foi transferido a um vial com uso de micropipeta.

*A amostra do extrato lixiviado foi obtida por:*

Foi seguido o procedimento da Norma ABNT NBR 10005 (2004b).

Assim, aproximadamente, 100 g de amostra previamente peneirada em malha de 9,5 mm recebeu adição de, aproximadamente, 2.000 g (20 vezes a massa da amostra) de solução extratora à base de ácido acético glacial e hidróxido de sódio (pH de aproximadamente 4,93). Após esta etapa, o conjunto foi mantido sob

agitação por aproximadamente 18 horas, a 25°C, seguido de filtração e determinação do pH.

*Análise de Metais:*

As análises das concentrações dos metais pesados nos extratos lixiviados e soluções extraídas da amostra bruta foram realizadas por meio de leituras em espectrômetro de absorção atômica com emissão de chama, equipamento marca Varian, modelo SpectrAA200, conforme “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater”, método 3111 (EATON *et al.*, 2005).

*Análise de PAH:*

A determinação de PAHs foi realizada por cromatografia gasosa, em equipamento marca Varian, modelo CP 3900, acoplado a espectrômetro de massa, marca Varian modelo Saturn 2100, conforme Norma ISO 18287 (ISO, 2006).

*Análises de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio total*

As análises foram realizadas de acordo com o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos, do Ministério da Agricultura (MAPA, 2007).

A determinação de COT consistiu na tomada de uma massa de amostra sólida seca, a 65°C, e com partículas menores que 0,50 mm, em uma quantidade estimada de carbono orgânico entre 40 a 100 mg, que foi colocada em balão de vidro. Na sequência, foram adicionados 20 mL de solução 1,8N de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) e algumas pérolas de vidro. O frasco foi homogeneizado e conectado a um condensador. Um volume de 26 mL de solução de ácido sulfúrico concentrado com sulfato de prata foi adicionado, lentamente e sob agitação, através do condensador. O sistema foi aquecido e, após ebulição, foi mantido em digestão por 10 minutos. Após resfriamento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 200 mL e o volume completado com água deionizada.

Um volume de 10 mL do extrato foi transferido para frasco erlenmeyer de 250 mL, recebendo adição de 10 mL de ácido fosfórico, 4 a 5 gotas de solução indicadora de difenilamina sulfonato de bário e água deionizada até um volume final de 50 mL. Esta solução foi titulada com solução padrão 0,1N de sulfato ferroso amoniacal ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) até viragem para cor verde puro. Uma prova em branco também foi preparada, substituindo-se a amostra por água destilada, passando pelo mesmo procedimento de análise.

O teor de carbono orgânico total é obtido a partir da seguinte expressão:

$$\text{COT} = (V_B - V_A) \cdot N \cdot 60000/M$$

Em que:

COT: teor de carbono orgânico total, em mg/kg

$V_B$ : Volume de solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco, em mL

$V_A$ : Volume de solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL

N: Normalidade padronizada de sulfato ferroso amoniacal, em mol/L

M: Massa inicial seca da amostra, em g.

A determinação de nitrogênio total iniciou-se com adição de 40 mL de ácido sulfúrico concentrado e 2 g de ácido salicílico em balão Kjeldahl contendo aproximadamente 1,0 g de amostra. Após mistura e repouso por 30 minutos, foram adicionadas 5 g de tiossulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); após agitação, a solução foi aquecida. Na sequência, 1 g de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e 15 g de sulfato de potássio foram adicionadas ao balão, que foi levado à ebulição por, aproximadamente, 30 minutos.

Após resfriamento, foram adicionados 200 mL de água destilada e 25 mL de solução de tiossulfato de sódio (80 g/L), 3 grânulos de zinco e 140 mL de solução de hidróxido de sódio (450 g/L). O frasco foi conectado ao aparelho digestor-destilador Kjeldahl. Os vapores condensados da solução foram recebidos em um frasco contendo 50 mL de solução de ácido bórico (40 g/L) contendo 20 mL de uma solução (1g/L) de mistura de indicadores (verde de bromocresol, vermelho de metila e alaranjado de metila). O destilado foi então titulado com solução de ácido sulfúrico 0,25 M. Em paralelo, uma prova em branco foi preparada e digerida de forma similar à amostra.

O teor de nitrogênio total é calculado a partir da seguinte expressão:

$$\text{N-Tot} = 2,8014 \cdot (V_A - V_B) \cdot M/G$$

Em que:

N-Tot: teor de nitrogênio total, em mg/kg

$V_A$ : Volume de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra, em mL

$V_B$ : Volume de ácido sulfúrico gasto na titulação da prova em branco, em mL

M: molaridade padronizada da solução de ácido sulfúrico, em mol/L

G: massa inicial da amostra, em g

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ATIVIDADES ECONÔMICAS DO BAIXO BELÉM

Na Tabela 5 é apresentado o número total de estabelecimentos que obtiveram Alvará de Funcionamento liberado pela Prefeitura Municipal de Curitiba em 2010. Estes estabelecimentos desenvolvem atividades que podem gerar efluentes líquidos contaminados. Eles encontram-se instalados nos bairros que fazem parte da área de estudo, com base nos dados do IPPUC (IPPUC, 2010a, b, c, d, e, f). As porcentagens de estabelecimentos presentes em cada grupo de bairros e de tipos de estabelecimentos também são apresentadas.

Os bairros foram agrupados, conforme a sua localização em relação à margem esquerda, Guabirota, Jardim das Américas e Uberaba, e direita, Hauer, Xaxim e Boqueirão, do Rio Belém. Estes últimos destacam-se devido à grande quantidade de estabelecimentos instalados, em especial, indústrias e prestadores de serviços de usinagem e tratamento de metais (galvanoplastias), que responderam por aproximadamente 82% do total identificado.

TABELA 5 – NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS POTENCIALMENTE GERADORES DE EFLUENTES LÍQUIDOS POR BAIRRO NA ÁREA DE ESTUDO

BAIRROS	INDÚSTRIAS	GRÁFICAS	USINAGEM/ TRATAMENTO DE METAIS	SERVIÇOS AUTOMOTIVOS	POSTOS	TOTAL
Guabirota	25	36	8	67	31	167
Jardim das Américas	(12%)	(19%)	(8%)	(19%)	(33%)	(12%)
Uberaba						
Hauer	177	156	95	279	62	769
Xaxim	(88%)	(81%)	(92%)	(81%)	(67%)	(82%)
Boqueirão						
Total	202 (22%)	192 (21%)	103 (11%)	346 (37%)	93 (10%)	936

FONTE: adaptado de IPPUC (2010a, b, c, d, e, f)

Na Figura 14 é apresentada a distribuição dos estabelecimentos de acordo com os grupos de atividades. Pode-se observar que as atividades relacionadas ao uso de automóveis (serviços automotivos e postos de combustíveis), ao serem somadas, respondem por, aproximadamente, metade dos estabelecimentos avaliados.

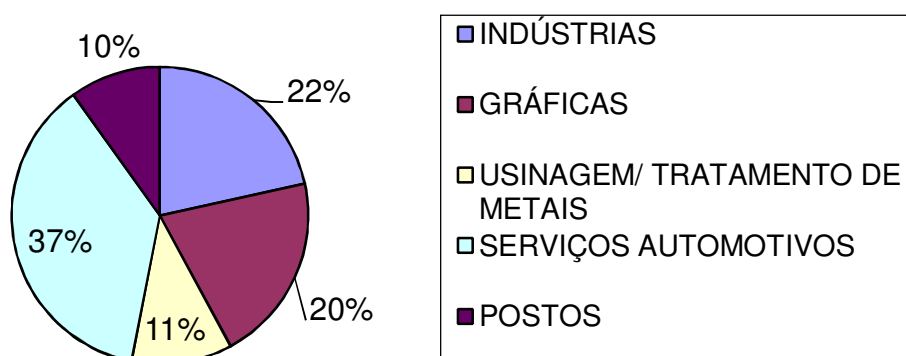


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS DE ATIVIDADES ECONÔMICAS NO BAIXO BELÉM

## 5.2 OBRAS DE DESASSOREAMENTO E LIMPEZA NO BAIXO BELÉM

De acordo com levantamentos realizados no Rio Belém, pela Secretaria Municipal de Obras Públicas de Curitiba, foi constatada a necessidade da realização de obras de desassoreamento e limpeza, para retirada de ilhas de sedimentos encontradas em vários pontos ao longo do rio, em especial no trecho de aproximadamente 7 km, compreendido entre a Linha Verde (BR-476) e o Rio Iguaçu (nas proximidades da ETE-Belém). A presença de ilhas de sedimento no rio tende a piorar as condições de fluxo de águas. Logo, aumenta o risco de ocorrência de inundações. Assim, o objetivo destas obras é o de possibilitar um melhor escoamento das águas, minimizando, desta forma, os efeitos das chuvas e a ocorrência de inundações (TAYLOR e OWENS, 2009).

As obras de intervenção no “Baixo Belém” ocorreram entre janeiro e maio de 2010. O cronograma previsto foi cumprido adequadamente. As ilhas de sedimento, bem como sedimento de fundo, foram removidas junto com parte do solo adjacente, por meio de retroescavadeiras. O conjunto deste material, denominado “sedimento removido”, foi depositado nas margens do rio em diversas camadas e pontos.

A quantidade aproximada de material retirado do rio pode ser visualizada no Quadro 7, por ponto de referência do local da disposição de sedimento nas margens. É possível observar que as maiores quantidades removidas correspondem aos pontos 4, 5 e 6, cujo volume total perfaz, aproximadamente, 75% do total removido nas obras de desassoreamento (Figura 15).

PONTO DE COLETA	PONTO DE REFERÊNCIA	QUANTIDADE (m³)
1	R. João Kosera	5.200
2	R. Salvador de Ferrante	8.500
3	R. Barbara Cid	7.500
4	R. Bley Zorning (montante da linha férrea)	17.700
5	R. Bley Zorning (jusante da linha férrea - Parque Náutico)	19.500
6	ETE-Belém	18.300
	Total	76.700

QUADRO 7 – QUANTIDADES DE SEDIMENTOS RETIRADOS DO RIO BELÉM NAS OBRAS DE DESASSOREAMENTO EM 2010, POR LOCAL DE DEPOSIÇÃO DO MATERIAL

FONTE: SCHMIDLIN (2010)

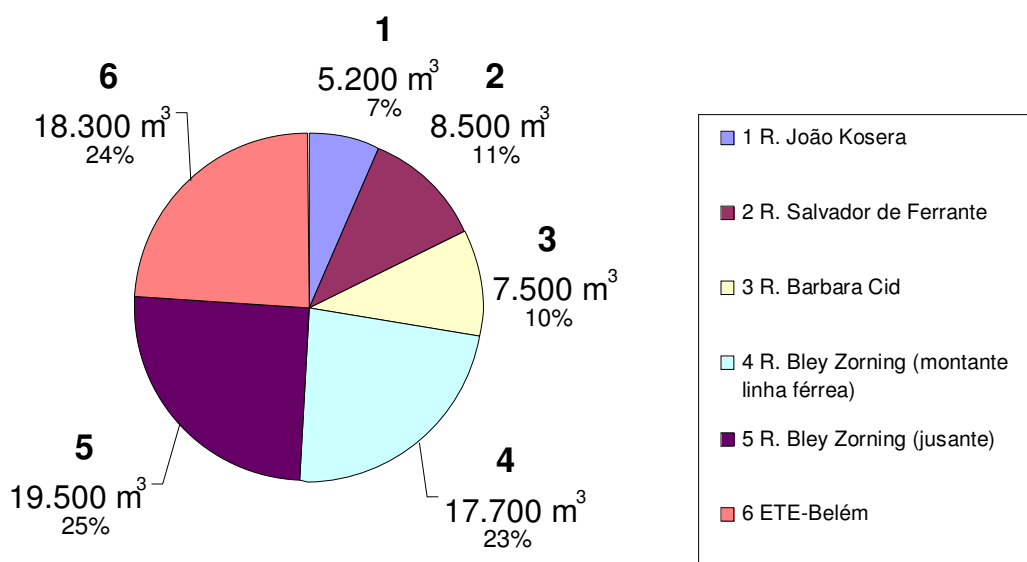


FIGURA 15 – QUANTIDADES DE SEDIMENTOS EM CADA LOCAL DE DEPOSIÇÃO

Na Figura 16 são apresentadas as imagens das ilhas de sedimentos. Elas ilustram o grau de assoreamento nos locais de deposição de sedimento e, conseqüentemente, de amostragem. A presença de ilhas de tamanhos diferentes, pequenas (Figura 16d) e grandes (Figura 16a, b, c, e, f), bem como posições diferentes, central (Figura 16a, b, d, e) ou mais marginal (Figura 16 c, e, f), pode ser observada. Na Figura 16f é apresentado o local de deságüe do Rio Belém no Rio Iguaçu, sendo também possível observar a presença de ilhas de sedimento. Os sedimentos do Rio Belém foram removidos e depositados nas suas margens. É importante ressaltar a inexistência de imagens aéreas mais recentes (GOOGLE EARTH, 2010).





(a)



(b)

Ilhas de sedimento no rio Belém, próximo à (a) R. João Koserá; (b) R. Salvador de Ferrante



(c)



(d)

Ilhas de sedimento no rio Belém, próximo à (c) R. Bárbara Cid; (d) R. Bley Zorning



(e)



(f)

Ilhas de sedimento no rio Belém, próximo à (e) Parque Náutico, após R. Bley Zorning; (f) cruzamento com rio Iguaçu

FIGURA 16 – VISTA AÉREA DAS ILHAS DE SEDIMENTOS NO RIO BELÉM, NO TRECHO SOB INTERVENÇÃO

FONTE: GOOGLE EARTH (2010)



Na Figura 17 são mostradas as escavadeiras na operação de remoção de sedimentos. Na Figura 17a é ilustrada a retirada de sedimentos de fundo, enquanto que na Figura 17b, os sedimentos das margens, junto com solo adjacente. Isto revela a complexidade de composição final do material em estudo, em função dos diferentes graus de contaminação e das quantidades removidas de cada porção de sedimento (marginal, de fundo, solo) que poderiam ser encontrados.



(a)



(b)

FIGURA 17 – EXECUÇÃO DE DESASSOREAMENTO NO RIO BELÉM, COM RETIRADA DE (a) SEDIMENTO DE FUNDO E (b) DAS MARGENS

O aspecto visual do sedimento amostrado é apresentado na Figura 18. O sedimento se apresenta como um material arenoso (Figura 18 a; ponto 4) em alguns pontos e, em outros, com aparência típica de solo (Figura 18 b; ponto 6). Não foi visualizada presença de material similar ao de “lodo de esgoto” em nenhum dos pontos de amostragem.

Na Figura 19 é apresentada a região de deposição do sedimento nas margens do rio. A quantidade de material retirada no ponto 6 (Figura 19a) foi muito maior que a do ponto 1 (Figura 19b); cujo valores foram apresentados no Quadro 7. A visão geral revela que o ponto 6 tem aspecto de solo, enquanto que os pontos 1, 4 e 5, têm aspecto arenoso. É importante salientar que, após, aproximadamente, quatro meses do término das obras, os pontos 4 e 5 apresentavam vegetação crescida em parte de sua superfície.



(a)



(b)

Aspectos do material retirado nos pontos próximos a: (a) R. Bley Zorning; (b) Rio Iguaçu  
 FIGURA 18 – ASPECTO VISUAL DO SEDIMENTO RETIRADO DO RIO BELÉM



(a)



(b)

Material retirado do rio Belém, próximo à (a) Rio Iguaçu; (b) R. João Kosera



(c)



(d)

Material retirado do rio Belém, próximo à (c) R. Bley Zorning; (d) Parque Náutico

FIGURA 19 – DISPOSIÇÃO DO SEDIMENTO REMOVIDO NAS MARGENS DO RIO BELÉM

### 5.3 ANÁLISE QUÍMICA DOS SEDIMENTOS DAS OBRAS DE LIMPEZA E DESASSOREAMENTO DO BAIXO BELÉM

Os sedimentos avaliados neste trabalho estão em contato direto com a água do Rio Belém, a qual é frequentemente avaliada pelo IAP. O índice de qualidade de AIQA (Avaliação Integrada da Qualidade de Água) determinado por este órgão tem classificado o rio como extremamente poluído para o período de 2005 a 2009 (IAP, 2009). Este índice leva em consideração parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e ecotoxicológicos. As violações relatadas foram devidas às concentrações de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal e número mais provável de células de *Escherichia coli* para a estação AI-56, sendo que nas estações AI-19 e AI-15 também por toxicidade para *Daphnia magna*. Elementos inorgânicos, como cádmio, cromo, chumbo, níquel e zinco, bem como nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio total), fazem parte deste índice e são parâmetros avaliados neste estudo. Assim, vários metais pesados e poluentes orgânicos foram estudados, levando em consideração o uso urbano deste rio e a capacidade para realização das análises dos laboratórios do Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Em um projeto de gerenciamento de sedimentos removidos de rios, por ocasião da realização de obras de dragagem, desassoreamento e limpeza, é necessário estabelecer os critérios e procedimentos para a adequada retirada deste material, sua disposição temporária, as formas de transporte e os locais de destinação final, cujas alternativas, no caso destes materiais, podem ser agrupadas em: uso para outras finalidades, tratamento, disposição final no solo e em aterro de resíduos. Para fins de avaliação destas alternativas, é necessário conhecer as características químicas dos sedimentos removidos.

Para avaliação das características químicas, foram realizadas coletas de amostras dos sedimentos removidos e dispostos junto às margens do Rio Belém. Os locais de coleta em que ocorreram as amostragens, bem como os respectivos pontos de referência das ruas próximas ao local de disposição estão listados no Quadro 8.

LOCAIS DE COLETA	PONTOS DE REFERÊNCIA
1	R. João Kosera
2	R. Salvador Ferrante
3	R. Bárbara Cid
4	montante da R. Bley Zorning
5	jusante da r. Bley Zorning (Parque Náutico)
6	Rio Iguaçu

QUADRO 8 - LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTOS E PONTOS DE REFERÊNCIA

### 5.3.1 Amostra Bruta

#### (a) Contaminante inorgânico

##### (a1) Cádmio

As concentrações observadas de cádmio para todos os pontos de amostragem ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (EATON *et al.*, 2005).

##### (a2) Chumbo

As concentrações observadas de chumbo para quase todos os pontos de amostragem ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (EATON *et al.*, 2005). Apenas o ponto 2 (1495,11 mg/kg) ficou acima de todos os padrões referenciais: geoquímico (114,50 mg/kg), sedimento (91,3 mg/kg), material dragado (350 mg/kg, valor de intervenção), lodo de esgoto (300 mg/kg) e solo (900 mg/kg, valor de investigação industrial), incluindo o valor de solo para uso industrial em Curitiba, que é o menos restritivo (1200 mg/kg), conforme Quadro 9. Este metal, por ser tipicamente gerado na indústria de pigmentos de tintas e baterias automotivas, pode estar associado à ação antrópica (BAIRD, 2002; LIMA, 2008).

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE CHUMBO			
sedimento nível II	91,3	geoquímico	114,50
lodo de esgoto	300	solo uso industrial (Curitiba)	1200
solo – valor de Prevenção	72	solo – valor de investigação industrial	900
material dragado – valor de prevenção	100	material dragado – valor de intervenção	350

QUADRO 9 - PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CHUMBO NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

##### (a3) Cobre

O teor deste metal no ponto 3 ficou abaixo do limite de detecção, como pode ser observado na Tabela 6. Os maiores valores foram encontrados nos pontos 4

(32,99 mg/kg) e 6 (52,22 mg/kg); mesmo assim, sendo apenas superior ao valor de referência geoquímico (31,92 mg/kg, apresentado no Quadro 10). Logo, os demais padrões: sedimento (197 mg/kg), prevenção para solo e material dragado (60 mg/kg em ambos), investigação residencial para solo (400 mg/kg), uso residencial para solo em Curitiba e intervenção para material dragado (500 mg/kg em ambos), e lodo de esgoto (1500 mg/kg) foram atendidos (Figura 20). Os demais valores encontrados nos pontos 1 (19,76 mg/kg), 2 (12,97 mg/kg) e 5 (14,38 mg/kg) atendem, desta forma, a todos os padrões referenciais, inclusive o geoquímico.

TABELA 6 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NOS PONTOS DE COLETA

PONTOS DE COLETA	1	2	3	4	5	6
Concentração (mg/kg) (base seca)	19,76	12,97	<L.D.	32,99	14,38	52,22

NOTA: L.D.: limite de detecção

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE COBRE			
lodo de esgoto	1500	solo uso residencial (Curitiba)	500
material dragado - valor de prevenção	60	material dragado - valor de intervenção	500
solo - valor de prevenção	60	solo - valor de investigação residencial	400
sedimento nível II	197	geoquímico	31,92

QUADRO 10 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

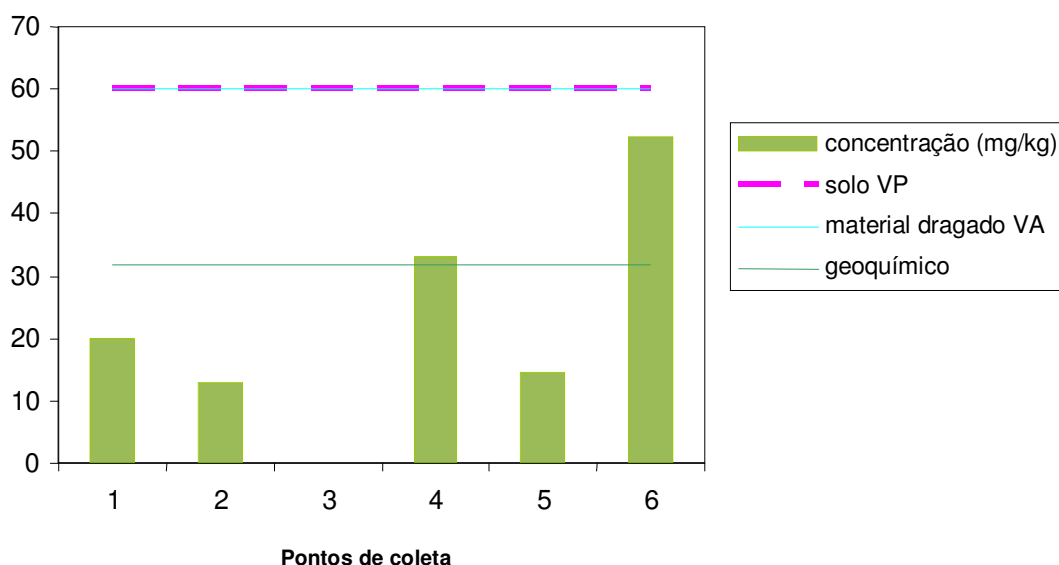


FIGURA 20 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COBRE NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

NOTAS: VP: valor de prevenção; VA: valor de alerta



## (a4) Cromo

As concentrações de cromo foram relativamente elevadas para os pontos 1, 2, 3 e 6, como pode ser observado na Tabela 7. Isto fica evidente ao se comparar com os padrões legais e geoquímicos. Na Figura 21 é possível observar um perfil descendente de concentração desde o ponto 1, mais afastado do rio Iguaçu, ao ponto 6, mais próximo, embora neste a concentração seja superior ao 4 e 5.

TABELA 7 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NOS PONTOS DE COLETA

PONTOS DE COLETA	1	2	3	4	5	6
Concentração (mg/kg) (base seca)	378,84	223,42	233,76	20,03	10,54	122,78

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE CROMO			
lodo de esgoto	1000	solo uso residencial (Curitiba)	700
material dragado - valor de prevenção	75	material dragado - valor de intervenção	700
solo - valor de prevenção	75	solo - valor de investigação residencial	300
sedimento nível II	90	geoquímico	19,76

QUADRO 11 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

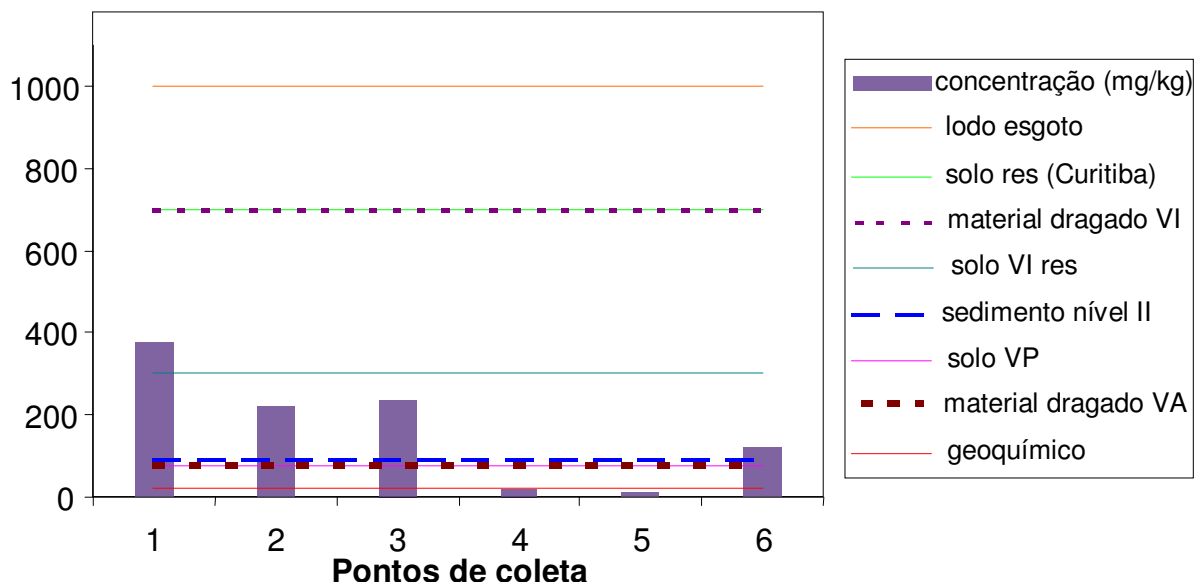


FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CROMO NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

NOTAS: VP: valor de prevenção; VI: valor de intervenção/investigação; VA: valor de alerta

res: residencial; ind: industrial

Pode ser afirmado que para o cromo:

(a) a maior concentração foi encontrada no ponto 1 (378,84 mg/kg), cujo valor ficou acima do valor geoquímico (19,76 mg/kg), do padrão para sedimentos (90,00 mg/kg) e dos valores de alerta para material dragado (75 mg/kg), de prevenção (75 mg/kg) e investigação residencial para solo (300 mg/kg);

(b) os valores dos pontos 2 (223,42 mg/kg), 3 (233,76 mg/kg) e 6 (122,78 mg/kg) também foram elevados. Por outro lado, todos foram menores que o valor de investigação residencial para solo;

(c) os valores mais baixos encontrados foram para os pontos 4 (20,03 mg/kg) e 5 (10,54 mg/kg). Apresentaram valores próximos ao padrão geoquímico;

(d) nenhum dos valores encontrados ficou acima dos valores de intervenção para material dragado e uso residencial de solo em Curitiba (700 mg/kg), bem como lodo de esgoto (1000 mg/kg).

#### (a5) Níquel

O níquel não foi detectado nos pontos 4 e 5 (Tabela 8), mas, nos demais pontos, as concentrações foram maiores que o valor geoquímico (11,25 mg/kg), o padrão para sedimentos (35,9 mg/kg), valor de alerta para material dragado e valor de prevenção em solo (30 mg/kg em ambos), como pode ser observado no Quadro 12 e Figura 22. É possível observar um comportamento de concentrações parecido ao cromo, ou seja, um perfil descendente de concentração desde o ponto 1, mais afastado do rio Iguaçu, ao ponto 6.

TABELA 8 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NOS PONTOS DE COLETA

PONTOS DE COLETA	1	2	3	4	5	6
Concentração (mg/kg) (base seca)	183,63	110,61	60,02	<L.D.	<L.D.	36,08

NOTA: L.D.: limite de detecção

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE NÍQUEL			
lodo de esgoto	420	solo uso residencial (Curitiba)	200
material dragado - valor de prevenção	30	material dragado - valor de intervenção	200
solo - valor de investigação industrial	130		
solo - valor de prevenção	30	solo - valor de investigação residencial	100
sedimento nível II	35,9	geoquímico	11,25

QUADRO 12 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

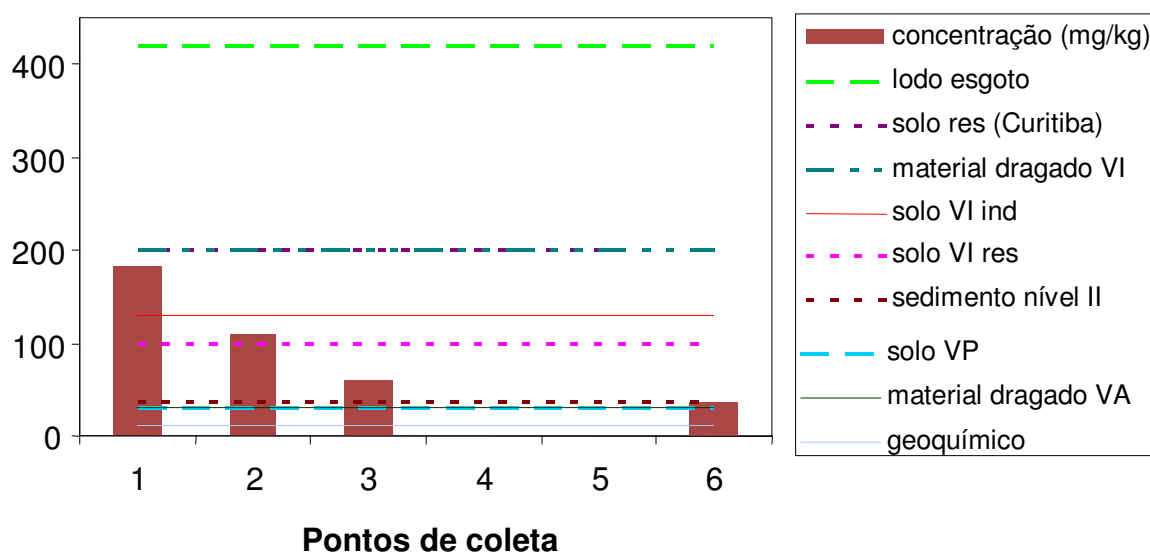


FIGURA 22 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

NOTAS: VP: valor de prevenção; VI: valor de intervenção/investigação; VA: valor de alerta  
res: residencial; ind: industrial

Pode ser afirmado que para o níquel:

(a) a maior concentração de níquel foi encontrada no ponto 1 (183,63 mg/kg), cujo valor ficou também acima do valor de investigação tanto residencial (100 mg/kg) como industrial (130 mg/kg) para solo;

(b) a concentração no ponto 2 também encontrou-se elevada (110,61 mg/kg), mas ficou abaixo do valor de investigação industrial para solo;

(c) já a concentração no ponto 3 (60,02 mg/kg) ficou acima do padrão geoquímico e para sedimento, bem como dos valores de alerta para material dragado, de prevenção e investigação residencial para solo;

(d) para o ponto 6, a concentração de 36,08 mg/kg ficou acima somente do padrão geoquímico e para sedimento e dos valores de alerta para material dragado e de prevenção para solo;

(e) nenhum dos valores encontrados nos seis pontos ficou acima dos valores de intervenção para material dragado e uso residencial de solo em Curitiba (200 mg/kg para ambos) e lodo de esgoto (420 mg/kg).



## (a6) Prata

As concentrações observadas de prata para todos os pontos de amostragem ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (EATON *et al.*, 2005).

## (a7) Zinco

A maior concentração de zinco foi encontrada no ponto 6 (289,00 mg/kg), o qual ficou acima do padrão geoquímico (156,64 mg/kg). Nos demais pontos: 1 (65,77 mg/kg), 2 (58,79 mg/kg), 3 (61,82 mg/kg), 4 (92,14 mg/kg) e 5 (72,24 mg/kg), as concentrações foram menores que este padrão. Os demais padrões referenciais foram atendidos em todos os pontos, como pode ser observado na Tabela 9 e Quadro 13: prevenção para solo (300 mg/kg), sedimento e prevenção para material dragado (315 mg/kg em ambos), investigação residencial para solo, intervenção para material dragado e uso residencial de solo em Curitiba (1000 mg/kg em todos eles), bem como para lodo de esgoto (2800 mg/kg).

É possível observar na Figura 23 que as concentrações são relativamente próximas umas das outras entre os pontos 1 a 5; no ponto 6, este comportamento não foi observado, havendo um teor maior deste metal.

TABELA 9 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NOS PONTOS DE COLETA

PONTOS DE COLETA	1	2	3	4	5	6
Concentração (mg/kg) (base seca)	65,77	58,79	61,82	92,14	72,24	289,00

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE ZINCO			
Lodo de esgoto	2800	uso residencial (Curitiba)	1000
material dragado – valor de prevenção	300	material dragado – valor de intervenção	1000
solo – valor de prevenção	300	solo – valor de investigação residencial	1000
sedimento nível II	315	geoquímico	156,64

QUADRO 13 – PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

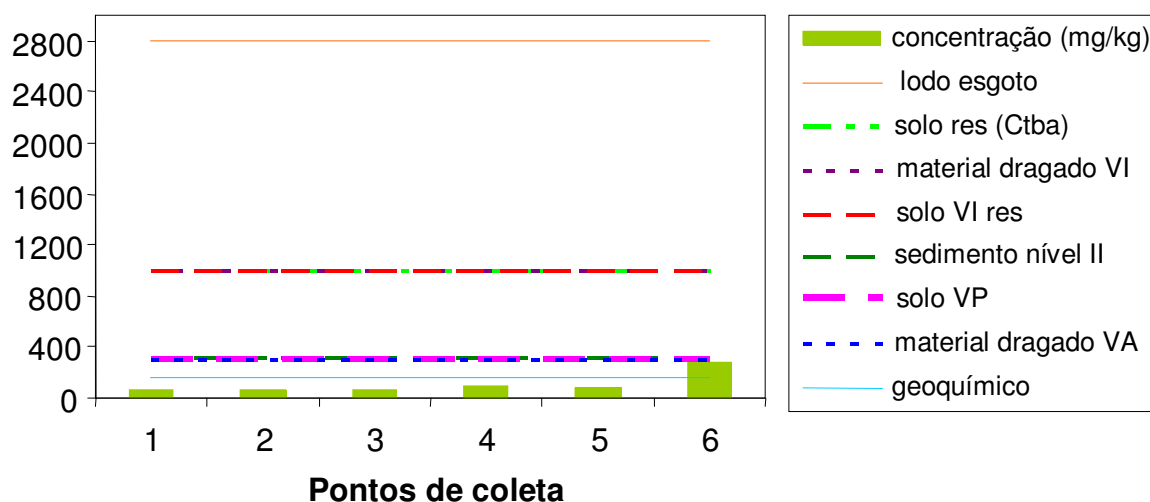


FIGURA 23 – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE ZINCO NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

Notas: VP: valor de prevenção; VI: valor de intervenção/investigação; VA: valor de alerta  
res: residencial; ind: industrial

## (b) Carbono Orgânico, Nitrogênio e Contaminantes Orgânicos

### (b1) Carbono Orgânico Total (COT)

Os pontos 2, 4 e 5 apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção, como pode ser observado na Figura 24. Os pontos 1 (0,18%), 3 (0,05%) e 6 (1,84 %) apresentaram valores inferiores ao padrão para sedimento (10%). Além disso, os teores de carbono orgânico em todos os pontos ficaram abaixo do teor mínimo exigido para lodo de esgoto (15%), de acordo com a Instrução Normativa SDA nº 025/09, para ser utilizado com fertilizante.

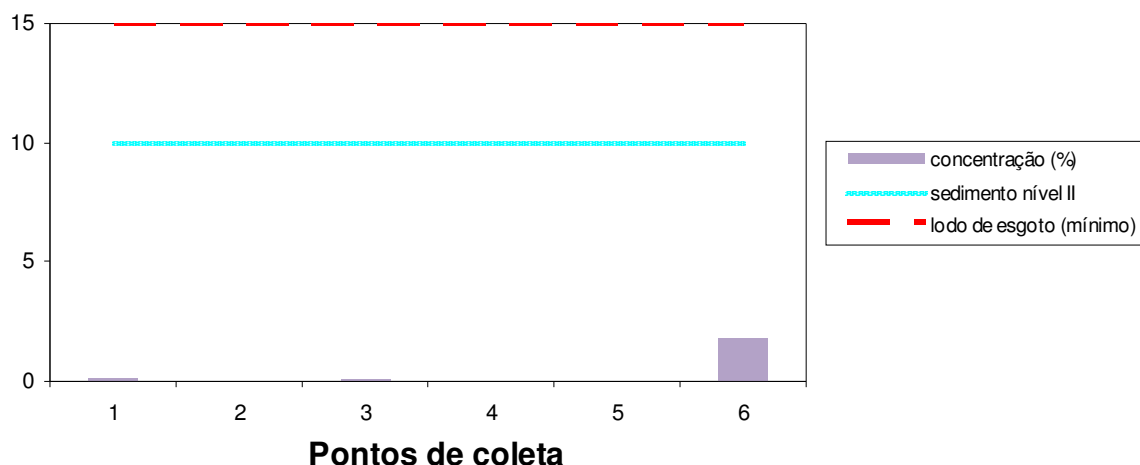


FIGURA 24 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE COT NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

#### (b2) Nitrogênio total

As concentrações de nitrogênio total encontradas nas amostras são: ponto 1 (0,29%), 2 (0,23%), 3 (0,42%), 4 (0,48%), 5 (0,06%) e 6 (0,56%), que estão relacionadas na Tabela 10.

TABELA 10 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL NOS PONTOS DE COLETA

PONTOS DE COLETA	1	2	3	4	5	6
Concentração (%) (base seca)	0,29	0,23	0,42	0,48	0,06	0,56

Somente o ponto 6 apresentou valor superior ao referencial para sedimento (0,48%), bem como é a única concentração que atende a exigência mínima (0,5%) para uso como fertilizante produzido a partir de lodo de esgoto (Figura 25), de acordo com a Instrução Normativa SDA nº 025/09. O ponto 4 apresentou a concentração limite do valor referencial para sedimento, ou seja, 0,48%. Os demais pontos apresentaram valores inferiores ao limite exigido.

Os teores de carbono orgânico dos sedimentos não atendem a Instrução Normativa SDA 025/09. Logo, para ser utilizado como “fertilizante”, a relação C/N (de no máximo 20) não se aplica ao caso.

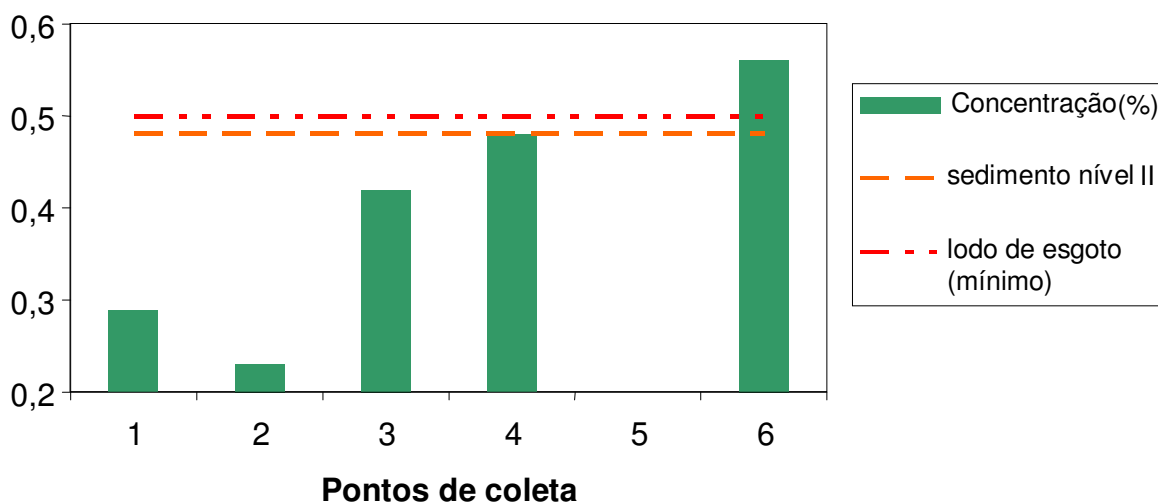


FIGURA 25 - COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL NOS PONTOS DE COLETA COM PADRÕES REFERENCIAIS

### (b3) PAH

Em relação às concentrações de PAH, observa-se que:

(a) a concentração de benzo(a)pireno no ponto 3 (9,07 mg/kg) foi superior a todos os padrões referenciais: prevenção para solo (0,052 mg/kg), sedimento (0,782 mg/kg), uso residencial e industrial de solo em Curitiba (0,7 mg/kg); incluindo o valor de intervenção de solo (3,5 mg/kg), que é o padrão menos restritivo (Quadro 14). Esse contaminante é atribuído à queima incompleta de combustíveis fósseis, resíduos e madeira, óleos (BAIRD, 2002), bem como componente do óleo diesel e lubrificante usado (KAIPPER, 2003; PEREIRA NETTO, 2000; HARITASH e KAUSHIK, 2009); ou seja, pode estar associado à ação antrópica.

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE BENZO(a)PIRENO			
sedimento nível II	0,782	solo- uso residencial e industrial (Curitiba)	0,7
solo - Valor de Prevenção	0,052	solo - Valor de Intervenção industrial	3,5

QUADRO 14 - PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE BENZO(A)PIRENO NO SEDIMENTO REMOVIDO

NOTA: concentrações em mg/kg (base seca)

(b) o antraceno foi detectado somente no ponto 3 (0,26 mg/kg). Esta concentração ficou acima dos dois padrões existentes para comparação: sedimento (0,245 mg/kg) e o valor de prevenção para solo (0,039 mg/kg).

(c) o benzo(g,h,i)perileno foi detectado somente no ponto 6 (0,53 mg/kg), mas ficou abaixo do único padrão existente: o valor de prevenção para solo (0,57 mg/kg);

(d) o fluoreno foi detectado nos pontos 3 (0,45 mg/kg) e 6 (0,46 mg/kg). Ambos superaram o único padrão existente, para sedimento (0,144 mg/kg);

(e) o benzo(b)fluoranteno foi detectado somente no ponto 3 (0,06 mg/kg). Não foram encontrados padrões legais para comparação;

(f) as concentrações das demais substâncias PAH analisadas, acenafteno, acenafetileno, benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, criseno, fluoranteno, fenantreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, pireno, ficaram abaixo do limite de detecção em todos os seis pontos de coleta (ISO, 2006).

### 5.3.2 Extrato lixiviado da amostra Bruta

A Norma NBR 10004 prevê a avaliação de cádmio, chumbo, cromo e prata para os limites apresentados no Quadro 15. Não foi detectado nenhum destes contaminantes nos diversos pontos de amostragem (EATON *et al.*, 2005), conforme apêndices. Os lixiviados, os quais foram extraídos em pHs finais entre 4,5 e 5,0, não revelando presença de contaminante é um aspecto positivo. Neste caso, os metais pesados presentes no sedimento estariam estabilizados e não causam dano biológico (BAIRD, 2002). Assim, esse material pode ser classificado como resíduo não-perigoso em todos os pontos para esses parâmetros.

PADRÕES REFERENCIAIS PARA COMPARAÇÃO DE METAIS NO EXTRATO LIXIVIADO			
Cádmio	0,5	Cromo	5,0
Chumbo	1,0	Prata	5,0

QUADRO 15 - PADRÕES REFERENCIAIS DE METAIS PESADOS (NBR 10004) NO EXTRATO LIXIVIADO

NOTA: concentrações em mg/L

### 5.4 USO E DISPOSIÇÃO FINAL DE SEDIMENTOS REMOVIDOS DE ACORDO COM OS PADRÕES REFERENCIAIS

O uso para outras finalidades ou a disposição final dos sedimentos em solo ou em aterro de resíduos apresentam restrição. As diversas referências legais e normativas para os parâmetros avaliados estão discutidas abaixo.

Os resultados obtidos na amostra bruta e no extrato lixiviado dos seis pontos de coleta foram comparados com as concentrações máximas de sedimento de fundo

(geoquímicos) na Região de Curitiba (MINEROPAR, 2001) e com os padrões legais brasileiros para solo, material dragado, lodo de esgoto, sedimentos e resíduos sólidos de modo a propor seu uso futuro ou disposição final.

A legislação ambiental usada como referência é:

- para solo, no Município de Curitiba: Decreto Municipal nº 1190/04 - valores de referência para uso residencial e industrial (CURITIBA, 2004)
- para solo, no Brasil: Resolução CONAMA nº 420/09 - valores de prevenção e investigação para uso residencial e industrial (CONAMA, 2009)
- para material dragado, em São Paulo: Resolução SMA nº 039/04- valores de alerta e intervenção para uso residencial (SÃO PAULO, 2004)
- para lodo de esgoto, no Brasil: Resolução CONAMA nº 375/06 (CONAMA, 2006) e Instrução Normativa SDA nº 025/09 (MAPA, 2009)
- para sedimento, no Brasil: Resolução CONAMA nº 344/04 (CONAMA, 2004)
- para resíduo sólido, no Brasil: Norma técnica NBR 10004 – classificação de resíduos (ABNT, 2004a).

As justificativas para escolha destes padrões referenciais foram:

(1) uso dos padrões legais brasileiros já existentes para material dragado, como o caso da Resolução do Estado de São Paulo, para avaliação de alternativa de disposição direta no solo;

(2) o uso das concentrações máximas de sedimento de fundo, ou geoquímico, considerando as formações geológicas existentes na área de estudo e já apresentadas na Tabela 4, teve por finalidade estabelecer uma primeira referência de concentrações previamente existentes para o sedimento em questão, ou seja, as concentrações de metais pesados que poderiam ser esperadas nesta avaliação química;

(3) o uso de padrões para sedimento foi escolhido, ainda que a Resolução CONAMA se aplique para disposição de sedimentos em corpos aquáticos, o que não é objeto deste trabalho, mas para avaliar qual o nível de contaminação deste sedimento removido que pode causar efeitos adversos ao rio;

(4) o uso dos padrões legais para solo, tanto a nível federal quanto municipal, teve por finalidade a avaliação do uso do sedimento que atende a estes padrões como solo propriamente dito, por exemplo, construção civil (material de

preenchimento em fundações), recuperação de áreas contaminadas e disposição final direta no solo;

(5) os padrões legais para lodo de esgoto foram utilizados, considerando-se o uso deste sedimento removido para aplicações em solos agrícolas e para camadas de plantio e recultivo em coberturas de aterros de resíduos, recuperação de áreas contaminadas e em usos recreativos; mesmo se tratando de um material com características a princípio diferentes, estes padrões serviriam como uma primeira referência para uma aplicação de materiais em solos, já que a legislação ambiental brasileira para solos não traz tais parâmetros;

(6) os padrões para classificação de resíduos foram utilizados para avaliar o nível de contaminação do sedimento removido enquanto resíduo a ser disposto em aterro, ou seja, verificar se este é possível classificá-lo como resíduo perigoso ou não-perigoso, bem como observar a presença de contaminantes no extrato lixiviado, o que pode influenciar nos usos futuros a serem discutidos neste trabalho.

#### *5.4.1 Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões próprios de sedimentos*

##### *(a) Padrões Geoquímicos*

Os padrões geoquímicos podem ser considerados, neste momento, uma primeira referência de qualidade para sedimentos na Região de Curitiba, na ausência de valores que definam sua qualidade natural.

As características geológicas da Bacia Hidrográfica do Belém apresentam sedimentos de fundo com características mais argilosas, relativo à Formação Guabirotuba, e também podem conter siltes, areias e matéria orgânica, devido à presença de Sedimentos inconsolidados. Assim, a presença de metais pesados adsorvidos nas frações de argila, silte e matéria orgânica era de se esperar.

Os teores de metais pesados foram superiores aos padrões geoquímicos para:

- (a) cromo, nos pontos 1, 2, 3, 4 e 6;
- (b) níquel, nos pontos 1, 2, 3 e 6;
- (c) zinco, no ponto 6; e
- (d) chumbo, no ponto 2.

Assim, pode ser concluído que houve um aumento das concentrações de metais pesados nos sedimentos analisados, o que pode indicar a interferência antrópica na qualidade destes sedimentos em relação a 1995 (MINEROPAR, 2001).

As fontes prováveis podem ser atribuídas aos estabelecimentos geradores de efluentes, notadamente galvânicas (tratamento de superfície em metais), bem como as relacionadas ao uso de veículos, bem como de lançamentos de esgotos (TAYLOR e OWENS, 2009).

A contaminação foi mais frequente para o cromo e o níquel, inclusive nos pontos 1, 2 e 3. O chumbo apresentou um valor isolado alto (1495,11 mg/kg), no ponto 2; o que, ao contrário dos anteriores; não pode ser atribuído ao efeito cumulativo ao longo deste trecho.

*(b) Padrões para Sedimentos*

Outra forma para avaliar o potencial de contaminante é o uso de valores orientadores para sedimentos, de acordo com o disposto na Resolução CONAMA nº 344/04 (CONAMA, 2004). Esta resolução estabelece valores para o nível II, os quais apresentam os limites para um potencial efeito adverso à biota aquática. Ela também apresenta valores de alerta para as concentrações de COT e de nitrogênio total para o mesmo fim.

Os sedimentos dos pontos 4 e 5 atendem a esta Resolução. Por outro lado, as concentrações de cromo e níquel (pontos 1, 2, 3 e 6), bem como de chumbo (ponto 2), estão acima dos valores limites. Esta resolução também apresenta limites para compostos orgânicos e nitrogênio total. Assim, as concentrações do antraceno e do benzo(a)pireno (ponto 3), do fluoreno (ponto 3 e 6), bem como do nitrogênio total (ponto 6), também excederam os valores limites. A presença dos contaminantes orgânicos pode ser atribuída a lançamentos ou a pequenos acidentes com óleos minerais e combustíveis, provenientes de postos de combustíveis, oficinas mecânicas e veículos em circulação (KAIPPER, 2003; KELDERMAN *et al.*, 2000; PEREIRA NETTO, 2000; HARITASH e KAUSHIK, 2009).

O impacto ambiental causado pela ação antrópica usando a Resolução CONAMA nº 344/04 (2004) também foi estudada em outro rio de Curitiba, o Rio Barigui (FROEHNER e MARTINS, 2008). O teor de metais pesados, de carbono orgânico total (COT) e de nutrientes (nitrogênio) estava abaixo dos limites. Segundo os autores, as concentrações mais elevadas de nitrogênio nos sedimentos próximos as áreas urbanas indicariam a existência de lançamento de esgotos domésticos não-tratados. Os pontos situados em áreas mais distantes das áreas urbanas apresentaram menores teores. Por outro lado, esse fato pode ser atribuído ao alto



teor de areia no sedimento, o que reduziria o potencial de adsorção de metais pesados e compostos orgânicos.

Novamente, essa contaminação é possivelmente associada à ação antrópica decorrente da ocupação urbana e industrial na área de estudo. Ainda, ela está aparentemente associada com a qualidade da água do Rio Belém neste trecho, classificada como extremamente poluída (IAP, 2009).

O ponto 6 do Rio Belém, local do encontro do Rio Belém com o Iguazú, apresentou os maiores teores de COT e nitrogênio total. O Parque Náutico está presente neste local, o que provoca uma ocupação urbana menor do que dos demais pontos. Assim, esses resultados mostram comportamento oposto ao atribuído para o resultado observado ao sedimento do Rio Barigui, em que teores mais elevados foram encontrados em áreas de maior ocupação urbana (FROEHNER e MARTINS, 2008).

#### *5.4.2 Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de solos*

A Resolução CONAMA nº 420/09 apresenta Valores para Prevenção e de Investigação para solo. Os valores de prevenção garantem a baixa concentração de uma determinada substância no solo, de modo que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais. Por outro lado, o valor de investigação é a máxima concentração de uma determinada substância no solo a partir da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

##### *(a) Valores de Prevenção*

O uso dos sedimentos como solo propriamente dito pode ser aplicado como, por exemplo, disposição final no solo, recuperação de áreas contaminadas e construção civil (material de preenchimento para fundações). O sedimento deve obedecer às exigências previstas pela Resolução CONAMA nº 420/09.

Os valores limites para valores de prevenção foram atendidos pelos pontos 4 e 5. Os sedimentos dos pontos 1 (cromo e níquel), 2 (cromo, níquel e chumbo), 3 (cromo, níquel, antraceno e benzo(a)pireno) e 6 (cromo e níquel) deixariam o solo incapaz de sustentar as suas funções principais. Por outro lado, a hipótese de aplicação dos sedimentos retirados dos pontos 1, 2, 3 e 6 como “solo” não pode ser simplesmente descartada. Não é possível afirmar, com base nos resultados obtidos, se haveria ocorrência de efeitos adversos no local de sua aplicação devido ao teor

de contaminantes presentes. Para isto, estudos de avaliação para determinação dos contaminantes no solo e águas subterrâneas após aplicação, por exemplo, seriam necessários para descartar seu uso como solo.

*(b) Valores de Investigação*

As substâncias no sedimento que não atenderam a esses valores são:

(b1) cromo (ponto 1), chumbo (ponto 2), benzo(a)pireno (ponto 3) e níquel (pontos 1 e 2) para uso residencial no solo; e

(b2) níquel (ponto 1), chumbo (ponto 2), e benzo(a)pireno (ponto 3) para uso industrial.

Desta forma, o uso de sedimentos dos pontos 1, 2 e 3 como “solo” não seria recomendado, mesmo se considerando um cenário menos restritivo que é o uso industrial.

Somente os sedimentos dos pontos 4 e 5 poderiam ser utilizados como “solo”, pois suas concentrações estariam mesmo abaixo dos valores de prevenção. Para o ponto 6, os teores de cromo e de níquel acima dos valores de prevenção recomendam um estudo de avaliação posterior da qualidade do solo e águas subterrâneas no local de disposição.

*(c) Padrões de Qualidade pelo Decreto Municipal nº 1190/04*

O Decreto Municipal nº 1190/04 determina os padrões de qualidade de solo no Município de Curitiba. Apenas o ponto 2 (devido ao teor de chumbo) e o 3 (para o teor de benzo(a)pireno) não atendem às exigências locais, mesmo considerando o cenário menos restritivo, que é o uso industrial. Deste modo, os sedimentos dos pontos 1, 4, 5, e 6 poderiam ser utilizados como “solo”, sem que isso alterasse os padrões de qualidade atualmente vigentes em Curitiba.

Assim, deve ser observado que os padrões da legislação federal, estabelecidos pela Resolução Conama nº 420/09, são mais restritivos em relação aos municipais. Portanto, esta diferença nos padrões de solo entre os dois documentos legais deve também ser levada em conta.

*5.4.3 Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de lodo de esgoto*

Os sedimentos removidos também poderiam ser usados para aplicação em solos agrícolas e para composição de camadas de recultivo. Assim, é necessário que se faça a comparação com padrões para lodo de esgoto e fertilizantes obtidos a

partir deste. Apenas o teor de chumbo no ponto 2 (1495,11 mg/kg) ficou acima do valor referencial (300 mg/kg).

Os teores de carbono orgânico em todos os pontos foram inferiores ao teor mínimo exigido, de acordo com a Instrução Normativa SDA nº 025/09 (15%). Ainda, somente o ponto 6 (0,56%) atendeu a concentração mínima de nitrogênio total exigida (0,5%).

Desta forma, os sedimentos removidos não são diretamente aplicáveis para fins agrícolas. Assim, a adição de fertilizantes para complementação dos teores de COT, nitrogênio e outros nutrientes, tais como cálcio, potássio e magnésio, é necessária para viabilizar seu uso.

Mesmo assim, os sedimentos de dois pontos teriam seu uso inadequado para fins agrícolas. O ponto 2, devido ao teor de chumbo, e o ponto 3, devido ao teor relativamente elevado de benzo(a)pireno em relação aos padrões de solo utilizados neste trabalho.

#### *5.4.4 Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de classificação de resíduos*

A norma para classificação de resíduos de origem doméstica, industrial, hospitalar, agrícola, comercial, de serviços e de varrição é a NBR 10004. Os teores de contaminantes nos sedimentos devem atendê-la para ter o mesmo destino. Os sedimentos apresentaram valores abaixo dos limites previstos para extrato lixiviado para cádmio (0,5 mg/L), chumbo (1,0 mg/L), cromo (5,0 mg/L) e prata (5,0 mg/L), que é um dos requisitos que devem ser atendidos para que o resíduo seja classificado como não-perigoso.

No entanto, concentrações detectáveis de hidrocarbonetos (PAHs) também foram observados na amostra bruta, tais como benzo(a)pireno e benzo(b)fluoranteno, ambos no ponto 3, bem como cromo e níquel, detectados em todos os pontos de coleta. Assim, de acordo com o Anexo C da referida Norma, estas substâncias podem conferir toxicidade ao resíduo, podendo classificá-lo como perigoso.

A avaliação desta toxicidade depende de outros fatores, tais como a concentração da substância, seu potencial para migrar para o meio ambiente, persistência e extensão de bioacumulação nos ecossistemas e da capacidade da substância ser comprovadamente letal ao homem, na concentração em que se apresenta (ABNT, 2004a). No entanto, para o caso desta avaliação, somente a

detecção de concentrações das substâncias listadas no Anexo C da Norma não é suficiente para considerar o resíduo perigoso, uma vez que seriam necessárias outras avaliações, como por exemplo, ensaios de toxicidade e ecotoxicidade, que possam comprovar estes fatores. Desta forma, ao se considerar os resultados obtidos no sedimento e seguindo estritamente os procedimentos da Norma NBR 10004, não é possível ainda classificar o sedimento como resíduo não-perigoso.

Ainda assim, os resultados observados no extrato lixiviado atendem aos parâmetros na referida Norma. Os usos futuros dos sedimentos de todos os pontos poderiam ser viáveis; por exemplo, como agente de preenchimento de containeres geotêxteis. Neste caso, os sedimentos dos pontos 2 e 3 também poderiam ser utilizados, apesar dos altos teores para chumbo (1495,11mg/kg) e benzo(a)pireno (9,07 mg/kg), uma vez que ficam retidos no container.

Tais containeres preenchidos com sedimentos podem ser ainda usados para outros fins, por exemplo, como muros de proteção contra erosão e enchentes, base para construção de pistas de skate e bicicletas em parques ou aplicação em outros projetos urbanísticos. Um exemplo desta aplicação é o preenchimento de containeres com sedimentos contaminados removidos na dragagem do Canal do Fundão, no Rio de Janeiro, que após aplicação de polímeros para aglomeração, serão usados para fins de reurbanização da região (ESTADO, 2009; AULER, 2010; DRAGAGEM, 2010).

Seria também possível sugerir, com base nestes resultados, que os sedimentos provenientes de todos os pontos de coleta, em especial dos pontos 2 e 3, possam ser utilizados como cobertura de aterros de resíduos perigosos, uma vez que eventuais lixiviações dos contaminantes destes materiais seriam devidamente captadas e tratadas na estrutura do aterro.

A caracterização de sedimentos removidos com utilização das normas de amostragem, análise e classificação de resíduo sólido foi apresentada por Lima (2008), em estudo realizado com o material dragado do rio Tietê, em 2002. Um dos objetivos deste trabalho visava sua destinação final nas cavas da Lagoa de Carapicuíba, caso fossem classificados como resíduos inertes, de acordo com a Norma NBR 10004 (LIMA, 2008). A Resolução SMA 034/96 determinava que resíduos inertes pudessem ser dispostos em antigos locais de extração mineral, possibilitando, assim, a disposição do material dragado “inerte” (SÃO PAULO, 1996; LIMA, 2008). No entanto, nova avaliação da CETESB classificou este material como

não inerte, embora os resultados no extrato lixiviado atendessem aos limites da Norma e os valores encontrados na massa bruta, aos valores orientadores do Estado de São Paulo. Desta forma, uma investigação detalhada para uso da área da Lagoa e avaliação de efeitos na biota aquática foi exigida ao empreendedor da dragagem (MONITORAMENTO, 2003).

Os sedimentos removidos do rio Belém não foram classificados como resíduo inerte, mas atenderam aos limites para extrato lixiviado para cádmio (0,5 mg/L), chumbo (1,0 mg/L), cromo (5,0 mg/L) e prata (5,0 mg/L). Assim, eles podem, em princípio, ser utilizados para preenchimento de cavas de extração mineral (areia, por exemplo), desde que um estudo prévio ambiental da área pretendida, com avaliação de solo, água subterrânea e biota aponte a viabilidade ambiental desta opção. De acordo com o exposto anteriormente, os sedimentos do ponto 2, devido ao teor de chumbo (1495,11 mg/kg), e do ponto 3, devido ao teor de benzo(a)pireno (9,07 mg/kg), em relação aos padrões de solo, não teriam esse uso recomendado.

#### *5.4.5 Avaliação dos sedimentos em relação aos padrões de material dragado*

Parte do sedimento foi retirado do leito do Rio Belém. Assim, a comparação de seus resultados com os padrões de qualidade para material dragado foi realizada com base na legislação do Estado de São Paulo (Resolução SMA nº 039/04). Somente as concentrações de metais pesados nos sedimentos coletados dos pontos 4 e 5 atendem aos valores orientadores.

Não foram atendidos os valores:

- (a) de alerta para o: níquel (pontos 1, 2, 3 e 6), chumbo (ponto 2) e cromo (pontos 1, 2, 3 e 6); e
- (b) de intervenção para o: chumbo (ponto 2).

Assim, em princípio, somente os sedimentos dos pontos 4 e 5 poderiam ser dispostos diretamente no solo, sem que houvesse necessidade de monitoramento do solo e águas subterrâneas após esta aplicação.

Os sedimentos provenientes dos pontos 1, 3 e 6 poderiam ser dispostos no solo, desde que houvesse um estudo prévio de viabilidade técnica de localização e implantação da área favorável a esta aplicação, o qual deve ainda ser aprovado pelo órgão ambiental competente. Além disso, mesmo em se havendo tal aprovação, é requerida a realização de monitoramento do local, com a realização de análises de

solo e águas subterrâneas, para verificação do atendimento aos padrões de qualidade de água e solo estabelecidos nessa legislação.

O material presente no ponto 2, por não ter atendido o limite de intervenção para chumbo, só poderia ser disposto em aterro de resíduos.

Esta Resolução não apresenta valores limites de concentrações para os PAH constatados nas amostras, em especial, para antraceno, benzo(a)pireno, fluoreno, benzo(b)fluoranteno e benzo(g,h,i)perileno, que foram encontrados nas amostras de sedimentos dos pontos 3 e 6. No entanto, em virtude da elevada concentração de benzo(a)pireno no material do ponto 3, em relação aos padrões de solo, bem como por se tratar de substância perigosa, a disposição deste material no solo não seria, em princípio, recomendável.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sedimento com características químicas adequadas pode ser utilizado para fins mais nobres ou, mesmo, ser uma fonte de receita. O tipo de aplicação proposto levou em consideração seu uso direto, embora possam existir tratamentos prévios, como redução de umidade e separação de material grosseiro (MOHAN e HERBICH, 1997). No caso específico, o sedimento encontrava-se depositado às margens do rio Belém, o que permitiu um ajuste natural de umidade, e não foram observadas quantidades significativas de material grosseiro, conforme ilustrado nas fotos dos pontos de coleta.

O uso direto é muitas vezes a melhor opção a se fazer, a qual foi seguida neste trabalho, devido à restrição de área de manipulação do sedimento (USEPA e USACE, 2007) e falta de continuidade de produção de sedimentos (BRAY, 2008).

Os sedimentos do Rio Belém apresentam teores de contaminantes acima dos padrões geoquímicos e de sedimento para cromo e níquel (pontos 1, 2, 3 e 6), bem como chumbo (ponto 2). As concentrações de antraceno, benzo(a)pireno e fluoreno, em especial no ponto 3, também foram superiores aos padrões para sedimento. No entanto, alguns usos alternativos à disposição de sedimentos em aterros de resíduos podem ser feitos, como exposto a seguir (Quadro 16). Os padrões referenciais utilizados para pré-avaliação do teor de contaminantes, carbono orgânico e nitrogênio também são apresentados no Quadro 17.

USO	PADRÕES REFERENCIAIS USADOS NA PRÉ- AVALIAÇÃO DO TEOR DE SUBSTÂNCIAS	FONTE DE SEDIMENTOS (PONTOS)
- Material de preenchimento para fundações em estradas, ruas, ciclovias e pistas (Usos na construção civil) (Parques e usos recreativos) - Recuperação de áreas contaminadas	Solo (Resolução CONAMA 420/09)	4 e 5 6 (avaliação complementar)
	Solo (Decreto Municipal 1190/04)	1, 4, 5, 6
- Usos como camada de plantio e recultivo (Recuperação de áreas contaminadas) (Cobertura de aterros) (Parques e usos recreativos) (Usos agrícolas)	Lodo de esgoto (Resolução CONAMA 375/06)  (Resolução SDA 025/09)	1, 4, 5 e 6 3 (avaliação complementar) OBS.: necessita de adição de fertilizantes
- Cobertura de aterros de resíduos perigosos (sem finalidade de recultivo) - Preenchimento de containeres geotêxteis	NBR 10004	2, 3
- Cobertura de aterros de resíduos não-perigosos (sem finalidade de recultivo) - Preenchimento de cavas de extração mineral	NBR 10004	1, 4, 5 e 6 2 (avaliação complementar, embora o lixiviado não revelou presença de metais pesados, ou seja, estão estabilizados – logo, resíduo não perigoso) 3 (avaliação complementar, devido ao teor de benzo(a)pireno encontrado)
- Disposição direta no solo	Solo (Resolução CONAMA 420/09)	4 e 5 6 (avaliação complementar)
	Solo (Decreto Municipal 1190/04)	1, 4, 5, 6
	Material dragado (Resolução SMA 039/04)	4 e 5 1, 6 (avaliação complementar)
- Disposição em aterro de resíduos	NBR 10004	2
	Material dragado (Resolução SMA 039/04)	3 (avaliação complementar)

QUADRO 16 – RESUMO DAS SUGESTÕES PARA USO DOS SEDIMENTOS REMOVIDOS DO RIO BELÉM

	PADRÕES LEGAIS							
	Solo -Curitiba		Solo - Brasil			Material dragado		Lodo de esgoto
	res	ind	VP	VI res	VI ind	VA	VI res	
Chumbo	350	1200	72	300	900	100	350	300
Cobre	500	700	60	400	600	60	500	1500
Cromo	700	1000	75	300	400	75	700	1000
Níquel	200	300	30	100	130	30	200	420
Zinco	1000	1500	300	1000	2000	300	1000	2800
Antraceno	-----	-----	0,039	-----	-----	-----	-----	-----
benzo(a)pireno	0,7	0,7	0,052	1,3	3,5	-----	-----	-----
Benzo(g,h,i)perileno	-----	-----	0,57	-----	-----	-----	-----	-----
Carbono Orgânico Total (%)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	15
Nitrogênio total (%)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,5

QUADRO 17 – RESUMO DOS PADRÕES LEGAIS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES

Notas: concentrações em mg/kg (exceto quando indicado)

VP: valor de prevenção; VI: valor de intervenção/investigação; VA: valor de alerta

res: residencial; ind: industrial

Os sedimentos do ponto 2 (5.200 m<sup>3</sup>, devido ao teor de chumbo) e do ponto 3 (8.500 m<sup>3</sup>, devido ao benzo(a)pireno) necessitariam de uma destinação final em aterro de resíduos ou uso mais restritivo, como preenchimento de geotêxteis ou cobertura de aterro de resíduo perigosos. Por outro lado, os extratos lixiviados de todos os pontos de sedimentos não revelaram presença de cromo, prata, cádmio e chumbo; o que não restringiria o uso do sedimento do ponto 2, em princípio, para cobertura de aterro de resíduos não-perigosos ou em aterros sanitários (GREAT LAKES COMMISSION, 2004). A adição de produtos condicionantes como cimento, cinzas, argilas, fosfatos ou pó de cal, para imobilização de substâncias e estabilização do material não se justifica para o caso, pois o teor de contaminação é relativamente baixo e não existe demanda para uma aplicação tão nobre como ocorreu em Bremen, na Alemanha (HAMER, DESSEL e HAKSTEGE, 2007) e na baía de Newark, nos Estados Unidos (USEPA e USACE, 2007).

Os sedimentos dos pontos 4 (17.700 m<sup>3</sup>) e 5 (19.500 m<sup>3</sup>) apresentam maiores opções de uso; tais como, na construção civil e recuperação de áreas contaminadas, bem como a disposição direta no solo e em aterro de resíduos. Os baixos teores de contaminantes encontrados permitem tais aplicações (GREAT LAKES COMMISSION, 2004; USEPA e USACE, 2007). Eles podem ainda ser usados nas aplicações sugeridas para os sedimentos mais contaminados, tais como



preenchimento de containeres geotêxteis e cobertura de aterros de resíduos perigosos.

Nas demais áreas (ponto 1 com 5.200 m<sup>3</sup> e 6 com 18.300 m<sup>3</sup>), os sedimentos poderiam ser utilizados, por exemplo, como cobertura de aterro de resíduos não-perigosos. Esse uso deve ser avaliado também em relação a parâmetros físicos, como pH, conteúdo de água, permeabilidade, textura e consistência (MOHAN e HERBICH, 1997), de modo a verificar sua viabilidade como material construtivo (BARTOS, 1977). A disposição direta em solo dos sedimentos dessas duas áreas também é possível, desde que o local de disposição seja monitorado quanto às concentrações de contaminantes de solo e água subterrânea, antes e após a aplicação (SÃO PAULO, 2004).

As propostas de aplicação dos sedimentos em usos agrícolas para os pontos 1, 4, 5 e 6 devem ser confirmadas com avaliações dos sedimentos após adição de fertilizantes, para correção dos teores de carbono orgânico, nitrogênio e outros nutrientes, para que os requisitos mínimos estabelecidos em legislação sejam atendidos. A mistura com material orgânico e lodo de esgoto doméstico tratado é uma opção, visando, por exemplo, seu uso em projetos de paisagismo (BRAY, 2008) e em recuperação de áreas contaminadas (GREAT LAKES COMMISSION, 2004).

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

As obras de desassoreamento e limpeza, a fim de prevenir enchentes do Rio Belém, Município de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil realizadas em 2010 removeram, aproximadamente, 76.700 m<sup>3</sup> de sedimentos.

Os sedimentos foram removidos da região do “Baixo Belém”, na área compreendida entre a BR-476/Linha Verde até o cruzamento com o Rio Iguaçu, com a utilização de máquinas que os depositaram provisoriamente nas margens do rio. Materiais removidos das ilhas centrais e laterais do rio, bem como do fundo do rio e solo marginal, foram considerados como sedimentos. Seis pontos de acumulação de sedimentos foram produzidos. O ponto 1 era o mais afastado do ponto de deságüe no rio Iguaçu, enquanto que o ponto 6 era o mais próximo.

O rio teve seu canal retificado neste trecho e tem sua qualidade de água classificada pelo IAP como extremamente poluída nos últimos anos, apesar do enquadramento definido pela Portaria SUREHMA 20/92. As violações são devidas aos altos níveis de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal, *Escherichia coli*, bem como toxicidade para *Daphnia magna*.

A análise química preliminar de contaminantes inorgânicos e orgânicos baseada na ação antrópica foi realizada para sugerir uma destinação final alternativa à disposição em solo ou em aterro. Essa região urbanizada é ocupada por domicílios em áreas regulares e irregulares, inclusive em áreas de preservação permanente. Esta área apresenta ainda baixo percentual de áreas verdes. Indústrias e estabelecimentos prestadores de serviços estão presentes e descartam efluentes líquidos no Rio Belém. Foram identificados 936 estabelecimentos industriais e de serviços, cujas atividades foram classificadas em: indústrias em geral (22%), usinagem e tratamento de metais (11%), gráficas (21%), serviços automotivos (37%) e postos de combustíveis (10%).

A avaliação química prévia dos contaminantes nos sedimentos removidos foi realizada para definir o uso mais nobre tecnicamente possível. A contaminação por metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, prata e zinco), hidrocarbonetos aromáticos polinucleados (PAH), bem como carbono orgânico total e nitrogênio total, foi avaliada nos seis pontos de obras do Rio Belém. As concentrações de metais pesados (prata, cromo, chumbo e cádmio) nos extratos

lixiviados de todos esses pontos também estavam abaixo do limite de detecção. Assim, os teores de contaminantes foram comparados com as referências legais e normativas: solo (Decreto Municipal 1190/04 e Resolução CONAMA nº 420/09), material dragado (Resolução SMA nº 039/04 – valores de alerta e prevenção), lodo de esgoto (Resolução CONAMA nº 375/06 e Instrução Normativa SDA nº 025/09), sedimento (Resolução CONAMA nº 344/04 e Atlas Geoquímico da Região de Curitiba) e resíduo sólido (NBR 10004).

A contaminação encontrada nos sedimentos é compatível com a ação antrópica decorrente da atividade econômica no entorno do rio Belém. Os teores de chumbo (ponto 2), cromo e níquel (pontos 1, 2, 3 e 6), bem como de antraceno, benzo(a)pireno e fluoreno (ponto 3) estavam acima dos padrões de sedimentos (Resolução CONAMA nº 344/04 e Atlas Geoquímico da Região de Curitiba). A comparação das concentrações com os demais padrões, no entanto, possibilitou a proposta de alternativas para sua destinação final.

A alta concentração para chumbo (1495,11 mg/kg no ponto 2 com 8.500 m<sup>3</sup>) e benzo(a)pireno (9,07 mg/kg no ponto 3 com 7.500 m<sup>3</sup>) restringiram seu uso para preenchimento de containeres geotêxteis ou somente como cobertura de aterros de resíduos perigosos. O lixiviado do ponto 2 não apresentou concentração de chumbo acima do limite para extrato lixiviado da norma NBR 10004, ou seja, ele pode ser classificado como “resíduo não-perigoso”, pois estaria estabilizado no sedimento. Nestes casos, uma avaliação complementar seria conveniente para confirmação.

Os sedimentos menos contaminados (ponto 4 com 17.700 m<sup>3</sup> e ponto 5 com 19.500 m<sup>3</sup>) seriam melhor usados como material de preenchimento para fundações em estrada, ruas e ciclovias, bem como em recuperação de áreas contaminadas. Nas demais áreas (1 com 5.200 m<sup>3</sup> e 6 com 18.300 m<sup>3</sup>), os sedimentos poderiam ser utilizados como cobertura de aterro de resíduos não-perigosos.

Os sedimentos coletados nos pontos 1, 4, 5 e 6, os quais atenderam os níveis de metais pesados estabelecidos na Resolução CONAMA nº 375/06, poderiam ser usados como camada de plantio ou recultivo e para fins agrícolas. Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total observados em todos os pontos de coleta não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos na Instrução Normativa SDA 025/09. Assim, a adição de fertilizantes e aditivos nos sedimentos seria necessária para este fim, o que torna o processo mais complexo. Do mesmo modo, a relação C/N deveria ser 20, para obedecer esta norma.

Algumas análises físicas complementares devem ser realizadas para confirmar a destinação final, tais como análise granulométrica e testes de compactação, de permeabilidade e de consolidação. Por exemplo, a maioria das alternativas apresentadas de uso de sedimentos para outras finalidades dependem do material ser mais arenoso ou argiloso, conforme o caso, o que pode ser determinado por meio da análise granulométrica.

A maioria do volume de sedimentos removidos pode ser usada para fins mais nobres, evitando o descarte em aterros, principalmente de resíduos perigosos, o que apresenta limitações de disponibilidade no Município. A metodologia empregada pode ser utilizada em outras obras de assoreamento e poderá ser expandida a outros municípios brasileiros. Assim, um protocolo de avaliação pode ser realizado por meio de: a) avaliação das atividades econômicas e urbanas que podem produzir poluentes que devem ser avaliados quimicamente; b) remoção dos sedimentos com medição do volume e simultaneamente realização de amostragem; c) realização das análises previstas; d) comparação dos teores dos contaminantes observados com os padrões legais e normativos para proposição de destinação final; e) realização de análises físicas para parâmetros complementares, de acordo com as peculiaridades de usos; e, f) transporte e aplicação dos sedimentos. Eventualmente, monitoramento do solo e água subterrânea da área receptora pode ser necessário.

## 7 PERSPECTIVAS FUTURAS

O presente trabalho apresentou sugestões de alternativas de destinação final de sedimentos removidos do rio Belém, bem como usos para outras finalidades, baseado em ensaios químicos. Outras sugestões para trabalhos futuros de destinação e uso de sedimentos removidos em obras de desassoreamento e limpeza de rios são apresentadas.

1. Realização de ensaios físicos tanto nos sedimentos removidos do Rio Belém como em futuras avaliações de sedimentos removidos em outras obras de desassoreamento de rios, tais como:

(a) para material de preenchimento em fundações: análise granulométrica, permeabilidade, compactação, consolidação, tensão viscosa, teor de água;

(b) em camadas de plantio ou recultivo, usos agrícolas: capacidade de retenção de água, capacidade de troca iônica, pH, condutividade elétrica.

2. Desenvolvimento de estudos específicos de aplicação dos sedimentos removidos em alternativas de uso para outras finalidades, em que, além dos ensaios físicos sugeridos acima, recomenda-se:

(a) realização de avaliações prévias nos locais em que se pretende usar o material como “solo” ou em áreas em que usos agrícolas, para plantio ou recultivo, sejam desejados, por exemplo, execução de ensaios químicos de solo e águas subterrâneas para verificação do atendimento aos respectivos padrões legais de qualidade, antes e após esta aplicação;

(b) no caso de usos em camadas de plantio ou recultivo, avaliação da quantidade e conteúdo de nutrientes necessários para adição nos sedimentos, com a execução de outros ensaios químicos de avaliação do uso do material resultante como fertilizante, de acordo com disposto na legislação vigente;

(c) em se considerando o uso de containeres geotêxteis, em particular, naqueles sedimentos com teores maiores de PAH, verificação da necessidade de aplicação de produtos, tais como pó de cal e cimento, para melhor imobilização dos contaminantes, podendo-se realizar novos testes de lixiviação de contaminantes antes e após esta aplicação;

3. Realização de ensaios físicos e químicos prévios do sedimento no rio, em obras preventivas de desassoreamento, para utilização dos resultados no planejamento das etapas do gerenciamento deste sedimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

AGÊNCIA BRASIL. Minc anuncia projeto de recuperação ambiental do Canal do Fundão. **Rio de Janeiro**, 25 de dezembro de 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u483205.shtml>>. Acesso em 22 jul. 2010.

ALEMANHA. Federal Soil Protection Act, de 17 de março de 1998. Disponível em: <<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/soilprotectionact.pdf>>. Acesso em 06 jan. 2010.

\_\_\_\_\_. Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance, de 12 de julho de 1999. Disponível em: <[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bbodschr\\_uk.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bbodschr_uk.pdf)>. Acesso em 06 jan. 2010.

\_\_\_\_\_. Landfill Ordinance, de 27 de abril de 2009. Disponível em: <[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ordinance\\_simplifying\\_landfill\\_law.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ordinance_simplifying_landfill_law.pdf)>. Acesso em 17 fev. 2010.

AULER, M. Tecnologia retira dejetos tóxicos do Canal do Fundão. **Estadão**, São Paulo, 14 de abril de 2010. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,tecnologia-retira-dejetos-toxicos-do-canal-do-fundao,538209,0.htm>>. Acesso em 22 jul. 2010.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARTOS JUNIOR, M.J. **Use of dredged material in solid waste management**. Technical report D-77-11. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1977. Disponível em: <<http://el.erdc.usace.army.mil/e2d2/pdfs/trd77-11.pdf>>. Acesso em 02 mar. 2010.

BEM, C. C. Determinação Do Estado De Eutrofização De Um Lago Raso: Estudo De Caso Do Lago Barigui – Curitiba. Curitiba, 2009. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BORTONE, G., Sediment Treatment – a General Introduction. In: BORTONE, G., PALUMBO, L. (Ed.). **Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment**, vol.2. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 1-10.

BRAY, R.N., **Environmental aspects of dredging**. Leiden: Taylor & Francis, 2008.

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE. **HABAB-WSV** (Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenland). Koblenz, 2000. Disponível em: <<http://www.dredging-in-germany.de/downloads/recht/08.pdf>>. Acesso em 06 nov. 2009.

CASTIGLIA, M.C.C.P. **Disposição subaquática de rejeitos de dragagem**: o caso do complexo lagunar de Jacarepaguá. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2006/Teses/CASTIGLIA\\_MCCP\\_06\\_t\\_M\\_int.pdf](http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2006/Teses/CASTIGLIA_MCCP_06_t_M_int.pdf)>. Acesso em 01 dez. 2009.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em 20 jan. 2010.

COHAB-CT. Companhia de Habitação de Curitiba. Plano Municipal de Regularização Fundiária em Áreas de Preservação Permanente – Anexo I. Curitiba, 2007. Disponível em: <[http://www.concidades.pr.gov.br/arquivos/File/DOC\\_IPPUC\\_Habitacao\\_Regul\\_Fund\\_APP\\_Anexo\\_I\\_Sintese\\_do\\_Diagnostico.pdf](http://www.concidades.pr.gov.br/arquivos/File/DOC_IPPUC_Habitacao_Regul_Fund_APP_Anexo_I_Sintese_do_Diagnostico.pdf)>. Acesso em 02 dez 2010.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>>. Acesso em: 30 dez. 2009.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 09 fev. 2010.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em Estações de Tratamento de esgoto sanitário e produtos derivados. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506> >. Acesso em: 09 fev. 2010.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> >. Acesso em: 20 jan. 2010.

CURITIBA. Decreto Municipal nº 1190, de 14 de dezembro de 2004. Estabelece os parâmetros de referência para qualidade de solo e água subterrânea no Município de Curitiba. Disponível em: < <http://sitepmcestatico.curitiba.pr.gov.br/servicos/meioambiente/legislacoes/D1190.pdf> >. Acesso em: 30 dez. 2009.

DEIBEL, I. LAMPE, C., ULBRICHT, J.P., CNUUDE, T., VAN DESSEL, G., Beneficial Use. In: BORTONE, G.; PALUMBO, L. (Org.). **Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment and Dredged Material Treatment**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.119-132.

DIN. DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 19731**: Verwertung von Bodenmaterial. Berlin, 1998.

DRAGAGEM do Canal do Fundão ameniza poluição que afeta a Baía de Guanabara. **AmbienteBrasil** [S.I.], 17 de maio de 2010. Disponível em: <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2010/05/17/55141-dragagem-do-canal-do-fundao-ameniza-poluicao-que-afeta-a-baia-de-guanabara.html>>. Acesso em 22 jul. 2010.

EATON, A.D., FRANSON, M.A.H., CLESCERI, L.S., RICE, E.W., GREENBERG, A.E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water & wastewater**, 21st ed., Washington: American Public Health Association, 2005.

ESTADO começa a recuperar Canal do Fundão. **Rio de Janeiro**, 09 de fevereiro de 2009. Disponível em: <[http://www.inea.rj.gov.br/noticias/noticia\\_dinamica1.asp?id\\_noticia=49](http://www.inea.rj.gov.br/noticias/noticia_dinamica1.asp?id_noticia=49)>. Acesso em 22 jul. 2010.

FORTUNATO, R. A. Subsídios à prevenção e controle das inundações urbanas: bacia hidrográfica do rio Belém, Município de Curitiba-PR. Curitiba, 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.



FOWLER, J., BAGBY, R.M., TRAINER, E., Dewatering sewage sludge with geotextile tubes. In: PILARCZYK, K.W. **Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering**. Rotterdam: Balkema, 2000, p. 415.

FROEHNER, S., MARTINS, R.F. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigui na Região Metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, São Paulo, vol. 31, n.8, Dez. 2008, p. 2020-2026. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n8/19-AR07579.pdf>. Acesso em 28 jul. 2009.

GEISSLER, H.J., LOCH, R.E.N. Análise histórica das enchentes em Curitiba-PR: medidas propostas e conseqüências observadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.507-523. (CD-ROM)

GOES FILHO, H. A. **Dragagem e Gestão dos Sedimentos**. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: < [http://wwwp.coc.ufri.br/teses/mestrado/rh/2004/Teses/GOES%20FILHO\\_HA\\_04\\_t\\_M\\_rhs.pdf](http://wwwp.coc.ufri.br/teses/mestrado/rh/2004/Teses/GOES%20FILHO_HA_04_t_M_rhs.pdf) >. Acesso em 01 dez. 2009.

GOOGLE EARTH. Version 6.0.1.2032 (beta), 2010.

GREAT LAKES COMISSION. **Testing and Evaluating Dredged Material for Upland Beneficial Uses: A Regional Framework for the Great Lakes**. 2 ed., 2004. Disponível em:< [http://www.glc.org/upland/download/UplandFramework\\_2.pdf](http://www.glc.org/upland/download/UplandFramework_2.pdf) >. Acesso em 04 set. 2009.

HAMER, K., DESSEL, G., HAKSTEGE, A.L., Stabilization/Chemical Immobilization. In: BORTONE, G., PALUMBO, L. (Ed.), **Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment**, vol.2. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 99-103.

HAMER, K., HAKSTEGE, A.L., AREVALO, E. Treatment and disposal of contaminated dredged sediments. In: LENS, P., GROTENHUIS, T., MALINA, G., TABAK, H. (Ed.), **Soil and Sediment Remediation: mechanisms, technologies and applications**, London: IWA, 2005, p. 345-369.

HARITASH, A.K., KAUSHIK, C.P., Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 169, n. 1-3, 30 set. 2009, p. 1-15. Disponível em [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TGF-4W15KWY-D&\\_user=479010&\\_origUdi=B6W75-460DCBX-4&\\_fmt=high&\\_coverDate=09%2F30%2F2009&\\_rdoc=1&\\_orig=article&\\_acct=C000022964&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=479010&md5=89825a80019b66f6e4717b8ce55fe09b](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TGF-4W15KWY-D&_user=479010&_origUdi=B6W75-460DCBX-4&_fmt=high&_coverDate=09%2F30%2F2009&_rdoc=1&_orig=article&_acct=C000022964&_version=1&_urlVersion=0&_userid=479010&md5=89825a80019b66f6e4717b8ce55fe09b). Acesso em 25 jan. 2010.

IAP. INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Qualidade das águas:** rios da bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba 2005 a 2009. Curitiba, 2009, p. 114. Disponível em:< [http://www.sema.pr.gov.br/arquivos/File/corh/qualidade\\_rios.pdf](http://www.sema.pr.gov.br/arquivos/File/corh/qualidade_rios.pdf)>. Acesso em 29 nov 2010.

IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Curitiba em dados. Áreas verdes por habitante e por bairro.** 2008. Disponível em:< [http://ippucweb.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2008\\_Áreas%20Verdes%20por%20Habitante%20e%20por%20Bairro%20em%20Curitiba.pdf](http://ippucweb.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2008_Áreas%20Verdes%20por%20Habitante%20e%20por%20Bairro%20em%20Curitiba.pdf)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Boqueirão. IPPUC.** 2010a. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Estabelecimentos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Boqueir%C3%A3o.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Estabelecimentos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Boqueir%C3%A3o.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Guabirota. IPPUC.** 2010b. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Estabelecimentos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Guabirota.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Estabelecimentos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Guabirota.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Hauer. IPPUC.** 2010c. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Estabelecimentos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Hauer.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Estabelecimentos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Hauer.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Jardim das Américas. IPPUC.** 2010d. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Estabelecimentos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Jardim%20das%20Am%C3%A9ricas.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Estabelecimentos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Jardim%20das%20Am%C3%A9ricas.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Uberaba. IPPUC.** 2010e. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Aut%C3%B4nomos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Uberaba.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Aut%C3%B4nomos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Uberaba.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. **Atividades Econômicas liberadas pela Prefeitura no Xaxim. IPPUC.** 2010f. Disponível em:< [http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010\\_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20\(Estabelecimentos\)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Xaxim.xls](http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2010_Atividades%20Econ%C3%B4micas%20(Estabelecimentos)%20Liberadas%20pela%20Prefeitura%20no%20Xaxim.xls)>. Acesso em 24 jan. 2011.

ISO. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 18287**. Soil Quality – Determination of Polycyclic aromatic hidrocarbons- Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS). 2006.

KAIPPER, B.I.A., Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados por óleo diesel. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina.

KELDERMAN, P., DROSSAERT, W.M.E., MIN, Z., GALIONE, L.S., OKONKWO, L.C., CLARISSE, I.A., Pollution Assessment of the canal sediments in the city of Delft (Netherlands). **Water Research**, vol. 34, n.3, 15 fev. 2000, p. 936-944. Disponível em: < [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6V73-3Y3PT09-X-B&\\_cdi=5831&\\_user=479010&\\_pii=S0043135499002183&\\_orig=search&\\_coverDate=02%2F15%2F2000&\\_sk=999659996&\\_view=c&\\_wchp=dGLbVlb-zSkzS&\\_md5=324a53cd0694ddd22916b6b252163a51&\\_ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V73-3Y3PT09-X-B&_cdi=5831&_user=479010&_pii=S0043135499002183&_orig=search&_coverDate=02%2F15%2F2000&_sk=999659996&_view=c&_wchp=dGLbVlb-zSkzS&_md5=324a53cd0694ddd22916b6b252163a51&_ie=/sdarticle.pdf) >. Acesso em 6 abr. 2010.

KOTSAN, A. Chuva causa alagamentos e fecha Shopping e Supermercado. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 09 set. 2009. Disponível em: < <http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?tl=1&id=922609&tit=Chuva-causa-alagamentos-e-fecha-shopping-e-supermercado> >. Acesso em 12 fev. 2011.

LIMA, C. A. Multiespacialidades metropolitanas e construção do lugar social- rumos para a sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**: cidade e sustentabilidade, n. 9, p. 39- 56. Curitiba: Editora UFPR, 2004.

LIMA, L.R.S. **Dragagem, transporte e disposição final de sedimentos de leito de rio** – Estudo de Caso: calha do rio Tietê – Fase II. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: < [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-30092008-155243/publico/DISSERTACAO\\_LILIAN\\_ROUSE\\_LIMA.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-30092008-155243/publico/DISSERTACAO_LILIAN_ROUSE_LIMA.pdf) >. Acesso em 08 jul. 2010.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa SDA 28, de 27 de julho de 2007 - Anexo. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos. Disponível em: < <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=13105> >. Acesso em 20 dez. 2010.

\_\_\_\_\_. Instrução Normativa SDA 25, de 23 de julho de 2009 - Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: < <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=detalharAto> >.

Arvore&tipo=INM&numeroAto=00000025&seqAto=000&valorAno=2009&orgao=SDA/MAPA&codTipo=&desItem=&desItemFim=#>. Acesso em 21 abr. 2011.

MINEROPAR. MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas Geoquímico da Folha Curitiba – Geoquímica dos sedimentos de fundo.** Curitiba: MINEROPAR, 2001. 80p.

MOHAN, R.K., HERBICH, J.B. Use of dredged material for capping solid waste landfills. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DREDGED MATERIAL BENEFICIAL USES, 1997, Baltimore. **Proceedings...** Baltimore: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1997. p. 127-128. Disponível em: <<http://el.erdc.usace.army.mil/dots/budm/pdf/techsess15-21.pdf>>. Acesso em 01 mar. 2010.

MONITORAMENTO realizado na Lagoa de Carapicuíba. **São Paulo**, 16 de maio de 2003. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/consemacarapicuibia.pdf>>. Acesso em 06 ago. 2009.

PARANÁ. Portaria SUREHMA 020/92. Dispõe sobre o enquadramento dos cursos d'água da Bacia do rio Iguaçu, de domínio do Estado do Paraná. **DOE**, 20 ago. 1992.

PEREIRA NETTO, A. D., MOREIRA, J.C., DIAS, A.E.X.O., ARBILLA, G., FERREIRA, L.F.V., OLIVEIRA, A.S., BAREK, J., Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (HNPA's): uma revisão metodológica. **Química Nova**, São Paulo, vol. 23, n.6, p.765-773, Dez. 2000. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2000/vol23n6/09.pdf>>. Acesso em 13 ago. 2009.

PILARCZYK, K.W. **Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering.** Rotterdam: Balkema, 2000.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Resolução nº 034, de 06 de maio de 1996. Estabelece Programa de apoio a municípios da Região Metropolitana de São Paulo que pretendam usar áreas mineradas, abandonadas ou não como locais de disposição de resíduos sólidos inertes. Disponível em: <[www.sigam.ambiente.sp.gov.br/.../resolucao%20sma%201996\\_034.pdf](http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/.../resolucao%20sma%201996_034.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Resolução nº 039, de 21 de julho de 2004. Estabelece as diretrizes gerais à caracterização do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em solo no Estado de São Paulo. Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2004\\_Res\\_SMA39.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2004_Res_SMA39.pdf)>. Acesso em: 30 dez. 2009.

SCHMIDLIN, A.C. **Sugestão de locais para coleta- Rio Belém** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por [anacarolina@notes.curitiba.pr.gov.br](mailto:anacarolina@notes.curitiba.pr.gov.br) em 16 set. 2010.

SUDERHSA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Plano diretor de drenagem urbana para a bacia do rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba – relatório final**. Curitiba, CH2MHILL, 2002.

SMMA. SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano Municipal de Controle Ambiental e Desenvolvimento Sustentável: Diagnóstico – III Versão**. Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00085327.pdf>>. Acesso em 29 nov. 2010.

TAYLOR, K.G., OWENS, P.N., Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. **Journal of Soils and Sediments**, v.9, n.4, agosto 2009, p. 281-303. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/2532421w37h21876/fulltext.pdf>>. Acesso em 14 abr. 2010.

TUCCI, C.E.M., ORSINI, L.F. Águas Urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Gestão Território e manejo integrado das águas urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 270 p. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/arquivos\\_pmss/15\\_COOPERACAO\\_BRASIL\\_ITALIA/3.3-Componente\\_2/2005/livro\\_gestao\\_do\\_territorio\\_e\\_manejo\\_das\\_aguas\\_urbanas.zip](http://www.snis.gov.br/arquivos_pmss/15_COOPERACAO_BRASIL_ITALIA/3.3-Componente_2/2005/livro_gestao_do_territorio_e_manejo_das_aguas_urbanas.zip)>. Acesso em 21 jan. 2010.

USACE. UNITED STATES ARMY CORP OF ENGINEERS. Army Engineer Waterways Experiment Station. **Beneficial Uses of Dredged Material**. EM 1110-2-5026. Washington, 1987. Disponível em: <<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-5026/entire.pdf>>. Acesso em 26 mar. 2010.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Acid Digestion of sediments, sludges and soils**. EPA Method 3050B. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2010.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; USACE. UNITED STATES ARMY CORP OF ENGINEERS. **Identifying, Planning, and Financing Beneficial Use Projects Using Dredged Material: Beneficial Use Planning Manual**. EPA842-B-07-001. Washington, 2007. 84 p. Disponível em: <[http://www.epa.gov/owow/oceans/ndt/publications/pdf/2007\\_beneficial\\_use\\_manual.pdf](http://www.epa.gov/owow/oceans/ndt/publications/pdf/2007_beneficial_use_manual.pdf)>. Acesso em 24 jun. 2009.

WINFIELD, L. E., LEE, C. R. **Dredged material characterization tests for beneficial use suitability**. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C2), 1999. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi. Disponível em: <<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/doerc2.pdf>>. Acesso em 01 mar. 2010.

## **APÊNDICE**

### **LAUDOS DE ANÁLISE DOS SEDIMENTOS COLETADOS NO RIO BELÉM**

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0568/2010**



Pag 1/2

Requisitante: Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba  
 Endereço: Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR  
 Identificação da amostra: Trecho 01 - Resíduo Dragado do Rio Belém  
 Tipo de amostra: Resíduo Sólido  
 Coleta: tipo Composta responsável SENAI - CIC data 26/02/10 hora 11h30min  
 Entrada no laboratório: data 26/02/10 horário 14h00min

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
<b>AMOSTRA BRUTA</b>				
<b>Ensaios Físico – Químicos</b>				
Carbono Orgânico	1,84 %		11/03/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,56 %		04/03/10	Ácido Salicílico
<b>Ensaios Instrumentais – EAA</b>				
Cádmio	< 10,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Chumbo	< 50,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Cobre	52,22	mg/kg	10/03/10	EAA / CH
Cromo Total	122,78	mg/kg	10/03/10	EAA / CH
Níquel	36,08	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Prata	< 5,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Zinco	289,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
<b>Ensaios Instrumentais – Cromatografia</b>				
<b>HPA's</b>				
Acenafetileno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)Pireno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	0,53	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	0,46	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS

*Handwritten signature and initials*

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**



**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0568/2010**



Pag 2/2

LIXIVIADO			
Ensaio Instrumentais – EAA			
Cádmio	< 0,10 mg/L	09/03/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50 mg/L	09/03/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05 mg/L	10/03/10	EAA / CH
Prata	< 0,05 mg/L	09/03/10	EAA / CH

LIXIVIAÇÃO	
Massa Processada (base seca)	107,52 g
pH final	4,54
Volume de lixiviado obtido	1970 mL

REFERÊNCIAS
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;</li> <li>2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;</li> <li>3. Ensaio Instrumentais – EAA e Ensaio Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;</li> <li>4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);</li> <li>5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B.</li> <li>6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods. Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;</li> <li>7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.</li> </ol>

OBSERVAÇÕES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;</li> <li>2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;</li> <li>3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaio Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;</li> <li>4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;</li> <li>5. MS = Espectrômetro de Massas.</li> </ol>

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS
<p align="center">   Analista Téc Sênior Alexandre Emmel CRQ 09200788 </p> <p>   Tecn Labor Ana Cristina O.S. Andrade CRQ 09201525 </p> <p>   Técnico Labor. Pancrácio F. Tenório CRQ 09400776 </p>

.../ae Curitiba 25/03/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone: 41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO



**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0569/2010**



Pag 1/2

Requisitante: Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba  
 Endereço: Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR  
 Identificação da amostra: Trecho 01 - Resíduo Dragado do Rio Belém  
 Tipo de amostra: Resíduo Sólido  
 Coleta: tipo Composta responsável SENAI - CIC data 26/02/10 hora 10h30min  
 Entrada no laboratório: data 26/02/10 horário 14h00min

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
<b>AMOSTRA BRUTA</b>				
<b>Ensaio Físico – Químicos</b>				
Carbono Orgânico	0,05 %		11/03/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,42 %		04/03/10	Ácido Salicílico
<b>Ensaio Instrumentais – EAA</b>				
Cádmio	< 10,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Chumbo	< 50,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Cobre	< 10,00	mg/kg	10/03/10	EAA / CH
Cromo Total	233,76	mg/kg	10/03/10	EAA / CH
Níquel	60,02	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Prata	< 5,00	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
Zinco	61,82	mg/kg	09/03/10	EAA / CH
<b>Ensaio Instrumentais – Cromatografia</b>				
<b>HPA's</b>				
Acenafetileno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	0,26	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	0,06	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)pireno	9,07	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	0,45	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01	mg/kg	25/03/10	Cromatografia Gasosa/MS

*Q 14*  
*Ana*

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0569/2010**



Pag 2/2

LIXIVIADO			
Ensaio Instrumentais – EAA			
Cádmio	< 0,10 mg/L	09/03/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50 mg/L	09/03/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05 mg/L	10/03/10	EAA / CH
Prata	< 0,05 mg/L	09/03/10	EAA / CH

LIXIVIAÇÃO	
Massa Processada (base seca)	106,91 g
pH final	4,55
Volume de lixiviado obtido	1740mL

REFERÊNCIAS	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;</li> <li>2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;</li> <li>3. Ensaio Instrumentais – EAA e Ensaio Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;</li> <li>4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);</li> <li>5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B;</li> <li>6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods, Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;</li> <li>7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.</li> </ol>	

OBSERVAÇÕES	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;</li> <li>2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;</li> <li>3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaio Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;</li> <li>4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;</li> <li>5. MS = Espectrômetro de Massas.</li> </ol>	

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS	
 Analista Téc. Senior Alexandre Emmel CRQ 09200788	 Tecn Labor Ana Cristina O.S. Andrade CRQ 09201525
 Técnico Labor. Pancrácio F. Tenório CRQ 09400776	

.../ae Curitiba 25/03/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO



**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0989/2010**

**SENAI**  
**EMPRESAS**  
*Resultados que movem seu Negócio*

Pag 1/2

Requisitante: **Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba**  
 Endereço: **Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR**  
 Identificação da amostra: **Ponto 01 - João Kozera**  
 Tipo de amostra: **Resíduo Sólido**  
 Coleta: tipo **Composta** responsável **SENAI - CIC** data **30/03/10** hora **16h30min**  
 Entrada no laboratório: data **30/03/10** horário **18h00min**

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
--------	-----------	---------	-----------------	-------------

AMOSTRA BRUTA				
Ensaio Físico – Químicos				
Carbono Orgânico	0,18	%C.O.	06/04/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,29	% N	15/04/10	Ácido Salicílico
Ensaio Instrumentais – EAA				
Cádmio	< 10,00	mg/kg	15/04/10	EAA / CH
Chumbo	< 50,0	mg/kg	15/04/10	EAA / CH
Cobre	19,76	mg/kg	15/04/10	EAA / CH
Cromo Total	378,84	mg/kg	16/04/10	EAA / CH
Níquel	183,63	mg/kg	16/04/10	EAA / CH
Prata	< 5,00	mg/kg	19/04/10	EAA / CH
Zinco	65,77	mg/kg	16/04/10	EAA / CH
Ensaio Instrumentais – Cromatografia				
HPA's				
Acenafetileno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafeno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)pireno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01	mg/kg	07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS

LIXIVIADO				
Ensaio Instrumentais – EAA				
Cádmio	< 0,10	mg/L	15/04/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50	mg/L	15/04/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05	mg/L	16/04/10	EAA / CH
Prata	< 0,05	mg/L	19/04/10	EAA / CH

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0989/2010**

**SENAI**  
**EMPRESAS**  
*Resultados que movem seu Negócio*

Pag 2/2

LIXIVIAÇÃO	
Massa processada (base úmida)	100g
pH final	4,96
Tempo total de lixiviação	18h
Volume de lixiviado obtido	1980mL


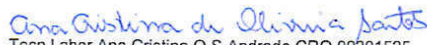
**REFERÊNCIAS**

1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;
2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;
3. Ensaios Instrumentais – EAA e Ensaios Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;
4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);
5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B;
6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods, Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;
7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.

**OBSERVAÇÕES**

1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;
2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;
3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaios Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;
4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;
5. MS = Espectrômetro de Massas.

**RESPONSÁVEIS TÉCNICOS**

  
 Analista Téc Sênior Alexandre Emmel CRQ 09200788  
  
 Tecn Labor Ana Cristina O.S.Andrade CRQ 09201525    Técnico Labor. Pancrácio F. Tenório CRQ 09400776

.../vcmg    Curitiba 03/05/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007    Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**



**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0990/2010**



Pag 1/2

Requisitante: Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba  
 Endereço: Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR  
 Identificação da amostra: Ponto 02 - Ferrante com Belém  
 Tipo de amostra: Resíduo Sólido  
 Coleta: tipo **Composta** responsável **SENAI - CIC** data 30/03/10 hora 17h30min  
 Entrada no laboratório: data 30/03/10 horário 18h00min

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
--------	-----------	---------	-----------------	-------------

AMOSTRA BRUTA				
Ensaio Físico - Químicos				
Carbono Orgânico	< 0,01 %		06/04/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,23 %		15/04/10	Ácido Salicílico
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 10,00 mg/kg		15/04/10	EAA / CH
Chumbo	1.495,11 mg/kg		15/04/10	EAA / CH
Cobre	12,97 mg/kg		15/04/10	EAA / CH
Cromo Total	223,42 mg/kg		16/04/10	EAA / CH
Níquel	110,61 mg/kg		16/04/10	EAA / CH
Prata	< 5,00 mg/kg		19/04/10	EAA / CH
Zinco	58,79 mg/kg		16/04/10	EAA / CH
Ensaio Instrumentais - Cromatografia				
HPA's				
Acenafetilen	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafteno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)pireno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01 mg/kg		07/04/10	Cromatografia Gasosa/MS

LIXIVIADO				
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 0,10 mg/L		15/04/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50 mg/L		15/04/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05 mg/L		16/04/10	EAA / CH
Prata	< 0,05 mg/L		19/04/10	EAA / CH

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 0990/2010**

**SENAI**  
**EMPRESAS**  
*Resultados que movem seu Negócio*

Pag 2/2

LIXIVIAÇÃO	
Massa processada (base úmida)	100g
pH final	4,95
Tempo total de lixiviação	18h
Volume de lixiviado obtido	1980mL

**REFERÊNCIAS**

1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;
2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;
3. Ensaios Instrumentais – EAA e Ensaios Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;
4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);
5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B;
6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods. Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;
7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.

**OBSERVAÇÕES**

1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;
2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;
3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaios Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;
4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;
5. MS = Espectrômetro de Massas.

**RESPONSÁVEIS TÉCNICOS**

Analista Téc. Sênior Alexandre Emmel CRQ 09200788

Ana Cristina de Oliveira Santos  
 Téc Labor Ana Cristina O.S.Andrade CRQ 09201525

Técnico Labor. Pancrácio F. Tenório CRQ 09400776

.../vcmg Curitiba 03/05/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**



## LABORATORIOS SENAI CIC

## RELATÓRIO DE ENSAIOS 3545/2010



EMPRESAS

Resultados que movem seu Negócio

Pag 1/2

Requisitante: Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba

Endereço: Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR

Identificação da amostra: Montante do Rio 1

Tipo de amostra: Resíduo Sólido

Coleta: tipo Composta responsável SENAI - CIC data 30/09/10 hora 15h00min - 17h00min

Entrada no laboratório: data 04/10/10 horário 08h00min

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
--------	-----------	---------	-----------------	-------------

AMOSTRA BRUTA				
Ensaio Físico - Químicos				
Carbono Orgânico	< 0,30	%	06/10/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,48	%	06/10/10	Ácido Salicílico
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 10,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Chumbo	< 50,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Cobre	32,99	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Cromo Total	20,03	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Níquel	< 10,00	mg/kg	08/10/10	EAA / CH
Prata	< 5,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Zinco	92,14	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Ensaio Instrumentais - Cromatografia				
HPA's				
Acenafetileno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafeno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS

LIXIVIADO				
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 0,10	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Prata	< 0,05	mg/L	14/10/10	EAA / CH

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007

Rev 07

A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 3545/2010**



Pag 2/2

LIXIVIAÇÃO	
Massa processada (base úmida)	100 g
pH final	4,96
Tempo total de lixiviação	18 h
Volume de lixiviado obtido	1960 mL

REFERÊNCIAS
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;</li> <li>2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;</li> <li>3. Ensaios Instrumentais – EAA e Ensaios Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;</li> <li>4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);</li> <li>5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B;</li> <li>6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods. Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;</li> <li>7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.</li> </ol>

OBSERVAÇÕES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;</li> <li>2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;</li> <li>3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaios Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;</li> <li>4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;</li> <li>5. MS = Espectrômetro de Massas.</li> </ol>

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS	
 Analista Téc Pleno Angélica Nogueira CRQ 09400901	 Tecn Labor Ana Cristina O.S. Andrade CRQ 09201525
 Analista Téc Sênior Alexandre Emmel CRQ 09200788	 Analista Téc Pleno Vanessa C.M. Gomes CRQ 09200775

.../vcmg Curitiba 25/10/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**



**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 3546/2010**



Pag 1/2

Requisitante: **Alessandra Belotserkovets Heinrich - SMMA Curitiba**  
 Endereço: **Rua General Potiguara, 201 - CIC - Curitiba / PR**  
 Identificação da amostra: **Jusante do Rio 1**  
 Tipo de amostra: **Resíduo Sólido**  
 Coleta: tipo **Composta** responsável **SENAI - CIC** data **01/10/10** hora **14h30min - 17h00min**  
 Entrada no laboratório: data **04/10/10** horário **08h00min**

Ensaio	Resultado	Unidade	Data realização	Metodologia
--------	-----------	---------	-----------------	-------------

AMOSTRA BRUTA				
Ensaio Físico - Químicos				
Carbono Orgânico	< 0,30	%	06/10/10	Oxidação com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	0,06	%	06/10/10	Ácido Salicílico
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 10,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Chumbo	< 50,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Cobre	14,38	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Cromo Total	10,54	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Níquel	< 10,00	mg/kg	08/10/10	EAA / CH
Prata	< 5,00	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Zinco	72,24	mg/kg	14/10/10	EAA / CH
Ensaio Instrumentais - Cromatografia				
HPA's				
Acenafetileno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Acenafeno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benz(a)antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(b)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(a)pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Criseno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Dibenz(a,h)antraceno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoreno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fenantreno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Fluoranteno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Naftaleno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS
Pireno	< 0,01	mg/kg	04/10/10	Cromatografia Gasosa/MS

LIXIVIADO				
Ensaio Instrumentais - EAA				
Cádmio	< 0,10	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Chumbo	< 0,50	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Cromo Total	< 0,05	mg/L	14/10/10	EAA / CH
Prata	< 0,05	mg/L	14/10/10	EAA / CH

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**

**LABORATORIOS SENAI CIC**  
**RELATÓRIO DE ENSAIOS 3546/2010**



Pag 2/2

LIXIVIAÇÃO	
Massa processada (base úmida)	100 g
pH final	4,95
Tempo total de lixiviação	18 h
Volume de lixiviado obtido	1960 mL

**REFERÊNCIAS**

1. NBR 10.004:2004 - Classificação de Resíduos;
2. NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos;
3. Ensaios Instrumentais – EAA e Ensaios Físico-Químicos conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ed., 2005;
4. HPA's baseado na Norma ISO 18287 (2006);
5. Preparo de amostra bruta para determinação por EAA conforme EPA Método 3050-B;
6. Methods of Soil Analysis – Chemical Methods. Part 3 - 1996 – Soil Science Society of American, Inc - SSSA – American Society of Agronomy, Inc - Madison, Wisconsin-USA - Séries: 5 – J. M. Bigham;
7. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS – Instrução Normativa, DAS 28, de 27 de Julho de 2007 – Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos – Coordenação Geral de Apoio Laboratorial – CGAL/SDA/MAPA – Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI – LANARV.

**OBSERVAÇÕES**

1. Realizado preparo de amostra para determinação por EAA;
2. EAA = Espectrometria de Absorção Atômica; CH = Chama;
3. Os resultados da amostra bruta dos Ensaios Instrumentais – EAA e Físico-Químicos, são expressos em base seca;
4. HPA's = hidrocarbonetos policíclicos aromáticos;
5. MS = Espectrômetro de Massas.

**RESPONSÁVEIS TÉCNICOS**

 Analista Téc Pleno Angélica Nogueira CRQ 09400901	 Tecn Labor Ana Cristina O.S. Andrade CRQ 09201525
 Analista Téc Sênior Alexandre Emmel CRQ 09200788	 Analista Téc Pleno Vanessa C.M. Gomes CRQ 09200775

.../vcmg Curitiba 25/10/10

Os resultados contidos nesse relatório referem-se somente à amostra analisada. É permitida a reprodução, desde que integralmente e sem nenhuma alteração

Rua Senador Accioly Filho 298 CEP 81310-000 Bairro CIC Curitiba/PR Fone :41-3271-7158

Ref: CIC 5007 Rev 07

**A UNIÃO DA INDÚSTRIA RUMO AO FUTURO**